

دليل

المهندس المدني

• الصيغ الهندسية والجداول والمخططات البيانية من أجل حلول سريعة ودقيقة في متناول يدك

منتدى إقرأ الثقافي

WWW.IQRA.AHLAMONTADA.COM



إعداد المهندس المدني
محمد صوراني

لتحميل انواع الكتب راجع: (مُنْتَدَى إِقْرَأِ النُّقَافِي)

پدای داتلود کتابهای مختلف مراجعه: (مُنْتَدَى إِقْرَأِ النُّقَافِي)

پژدایەزانانی چۆرەها کتێب:سەردانی: (مُنْتَدَى إِقْرَأِ النُّقَافِي)

www.iqra.ahlamontada.com



www.iqra.ahlamontada.com

للكتيب (كوردی , عربي , فارسي)

- الطبعة الأولى 2003
 - جميع الحقوق محفوظة
 - الناشر: شعاع للنشر والعلوم
- المحافظة - شارع القاهرة
هاتف : 00963 (21) 2643546
تلفاكس : 00963 (21) 2643545
ص.ب 7875
سورية - حلب

لمزيد من المعلومات

يرجى زيارة موقعنا على الانترنت: <http://www.raypub.com>
البريد الإلكتروني للقراء: info@raypub.com
البريد الإلكتروني لدور النشر والموزعين: raymail@raypub.com

دليل المهندس المدني

إعداد المهندس محمد صوراني

اللَّهُمَّ أَنْفَعْنِي بِمَا عَلَّمْتَنِي، وَعَلِّمْنِي مَا يَنْفَعُنِي،
وَزِدْنِي عِلْماً، وَالْحَمْدُ لِلَّهِ عَلَى كُلِّ حَالٍ

حديث شريف

مقدمة

يقدم الكتاب المساعد هذا أكثر من ألفي صيغة يحتاجها المهندسون المدنيون فتساعدهم في تصاميمهم المكتبية والحقلية وفي العديد من الميادين المتعلقة بمهام التشييد والبناء، وذلك في أي بقعة من العالم. كما تقدم تلك الصيغ يد العون لرسامي التصاميم ومهندسي الإنشاءات ومهندسي الجسور وبنائي الأساسات وللمهندسين الحقلين وللمهندسين المرشحين لفحص مزاولة المهنة وللمتخصصين في مادة البتوت ولبنائي المنشآت الخشبية وللطلاب الذين يتابعون دراستهم في كافة فروع الهندسة المدنية.

يعرض الكتاب الصيغ التي يحتاجها المهندسون المدنيون في اثني عشر فصلاً مختلفاً يتخصص كل واحد منها بفرع من فروع الهندسة المدنية مثل: الجيزان والجيزان الرئيسية، الأعمدة، الأوتاد وعموم أنواع الركائز، المنشآت البيتونية، هندسة المنشآت الخشبية، الهندسة المساحية، الدراسات المتعلقة بالتربة والأعمال الترابية، هندسة إنشاء المباني، الجسور، أكبال التعليق، هندسة الطرق والطرق العامة ذات الاتجاهين (السريعة)، ميكانيك الموائع والجريانات في الأقبية المكشوفة. وقد تم سرد صيغ مفاتيح الحل المتعلقة بكل موضوع من هذه المواضيع المعروضة. لقد تم شرح كل صيغة من تلك الصيغ بحيث يعرف المهندس أو الرسام أو المصمم كيف وأين ومتى عليه أن يستخدم الصيغة المطلوبة أثناء مزاولة عمله.

أعطيت الواحدات المستخدمة في الصيغ في كلٍ من النظامين؛ USCS (النظام المتبع في الولايات المتحدة - United States Customary System) و SI (النظام الدولي - System International). مما يعني أن الكتاب قابل للاستخدام في أي بقعة من العالم. ولأخذ بيد المهندس المدني أكثر في استخدام مادة هذا الكتاب من أجل مزاولة

* بناء المنازل الخشبية في الولايات المتحدة ظاهرة منتشرة، لذلك يوجد تخصص يعرف بالمنشآت الخشبية. المعد.

مهنة الهندسة في شتى أنحاء العالم على نحو يسير وسهل، تم عرض جدولة شاملة لعوامل التحويل في الفصل الأول من الكتاب.

مفيد أن نعرف أن عملية جمع والملمعة مثل هذه الكمية الكبيرة من الصيغ، تتطلب من المؤلف أن يكون مُقَاداً من قبل خبراء متخصصين يذكرون بالميادين الأكثر احتياجاً وأهمية سردها في الكتب المساعدة التي تضم الصيغ العملية والتطبيقية في الهندسة المدنية.

تضمنت المصادر التي استندت عليها الصيغ المقدمة في هذا الكتاب تجمّعات إدارية وصناعية متنوعة لها باع مديد في حقل الهندسة المدنية، فكان منها مؤلفو الكتب المرجعية حول المواضيع الهامة والرسامون والباحثون في حقل الهندسة المدنية، وكان منها أيضاً مهندسو التصميم الذين يعملون يومياً في حقل الهندسة المدنية. وقد تم سرد هذه المصادر في سياق كلمة الشكر.

يُنصح الدارس عند استخدام أي صيغة من الصيغ الواردة في هذا الكتاب والتي ربما جاءت من كود صناعي أو إداري، أن يعود إلى أحدث إصدار للكود. فالصيغ قد تتبدّل من إصدار لآخر للكود. لذا يجب ألا يغيب عن أذهاننا أن عملاً بهذا الحجم يصعب فيه تضمين الصيغ الصادرة حديثاً من كودات تتغير على نحو دائم.

احتمال حدوث أخطاء ضمن عمل هذا الحجم وارد، لذا فالمؤلف سيمتّن كثيراً لأي قارئ يتمحّص الكتاب ويكتشف خطأً فيه فيلفت انتباه المؤلف إليه. كل ما عليه أن يفعله هو أن يكتب للمؤلف فقط، وذلك بإشراف الناشر. وسيتم تصحيح الخطأ في الطبعة التالية.

إضافة لما ذكر، إذا كان القارئ يعتقد أن صيغة واحدة أو أكثر قد أهملت ولم يكن الكتاب بغني عنها، فالمؤلف سيكون مسروراً لأخذها بعين الاعتبار وإدخالها في الطبعة التالية من الكتاب. مرة أخرى نقول للقارئ أن ما عليه إلا أن يكتب المؤلف تحت عناية الناشر.

كيف تستخدم هذا الكتاب

الصيغ التي تمّ تقديمها في هذا الكتاب معنيّ باستخدامها المهندسون المدنيون في كل وجهة من وجهات عملهم المهنيّ؛ في التصميم والتقييم والإنشاء والتحضير، لكي تجد الصيغة الملائمة للحالة التي تواجهها، ابدأ باستشارة الدليل. فقد بُذل جهدٌ كبيرٌ لتقديم لائحة شاملة عن جميع الصيغ الموجودة في الكتاب.

فور أن تجد الصيغة التي تبحث عنها، اقرأ النص المرافق الذي يعطي معلومات خلفية عن الصيغة. وبعد أن تستوعب الصيغة وبمجالات تطبيقها، قم بإدخال القيم العددية عوضاً عن المتحولات الموجودة في الصيغة. بعد ذلك قم بحل الصيغة واستخدم النتائج في المهمة التي بين يديك.

باعتبار أن الصيغة قد تكون آتية من كود إداري رسمي (صادر عن جهة رسمية) أو من كود كائن ومعد لأعمال خاصة قيد الإنجاز، تأكد من فحص الإصدار الأخير للكود المعد للتطبيق لترى إذا كانت الصيغة المعطاة تتوافق مع صيغة الكود. فإن لم تتفق معه، تأكد من أنك تستخدم الصيغة الصادرة من أحدث كود متاح لك. وتذكر دائماً أنك كمهندس مصمم، مسؤول عن المنشآت التي تقوم بتخطيطها وتصميمها وبنائها. إن استخدام الإصدار الأخير لأي كود حكومي (صادر عن جهات رسمية) هو الطريقة الفعّالة الوحيدة للوصول إلى تصميم آمن يتمتع بثقة الجميع، فیدخل إلى نفسك الطمأنينة لأن تكون على صلة وثيقة به. هذا عدا عن أنك ستنام وأنت مرتاح وآمن تماماً.

1

عوامل التحويل الخاصة
بتطبيقات الهندسة المدنية

**Conversion Factors
for Civil Engineering Practice**

يقبل المهندسون المديون في أي مكان من العالم كلاً من نظام الولايات المتحدة المتبع (USCS) والنظام الدولي (SI) لوحدات القياس وذلك من أجل الحسابات التطبيقية النظرية. وعلى أي حال، يتبنى نظام الوحدات الدولي (SI) الأكثر استخداماً من النظام الخاص بالولايات المتحدة (USCS). لذا فقد تم بشكل أساسي إدراج النظامين USCS و SI من أجل كل صيغة في هذا الكتاب.

إذن، فمستخدم هذا الكتاب يستطيع تطبيق الصيغ بسهولة في أي مكان من العالم.

وللسماح باستخدام أوسع لهذا الكتاب، يتضمن هذا الفصل عوامل التحويل المطلوبة للانتقال من أحد الأنظمة إلى نظام آخر. أما بالنسبة للمهندسين اللامتألفين مع أي نظام بديل آخر للوحدات، فإن المؤلف يقترح عليهم اتباع الخطوات التالية ليصيروا متألفين مع الأنظمة التي لا يعرفونها.

1. قم بإعداد قائمة القياسات التي تستخدمها على نحو شائع في عملك اليومي.
2. أدخل وقابل كل واحدة لا تعرفها من النظام الآخر. بين الجدول 1.1 مثل هذه اللائحة لنظام الوحدات USCS مع نظام الوحدات SI المقابل لها كما بين الرموز المعدة من قبل منبراس مدني يستخدم بشكل اعتيادي النظام USCS. نظام الوحدات SI الموضح في الجدول 1.1 تم الحصول عليه من الجدول 1.3 من قبل المهندس.

3. قم بإيجاد القيمة التي تريد استخدامها، من جدول لعوامل التحويل كالجدول 1.3 مثلاً، لتحويلها من النظام USCS إلى النظام SI. أدخل كل قيمة ملائمة مأخوذة من الجدول 1.3، في الجدول 1.2.

4. قم بتطبيق قيم التحويل حيث يكون ضرورياً بما يخص الصيغ الموجودة في هذا الكتاب.

5. تذكر - في الوقت الحاضر - أن حلّ وجه الصعوبة التي تعانيتها لتصبح متألفاً مع النظام الجديد للقياسات، ستغدو فيما بعد سهلة ومرغوبة لك باستخدامك

أسماء وقيم الواحدات. وعندما تقوم بإعداد جدول التحويل الخاص بك، سيكون التحويل العددي بسيطاً وسهلاً.

الجدول 1.1 الواحدات المستخدمة على نحو شائع، SI و USCS

الواحدة المستخدمة في النظام USCS	الواحدة المستخدمة في النظام SI	رمز الواحدة في النظام SI	عامل التحويل (أضرب الواحدة المستخدمة في النظام USCS بهذا العامل لتحصل على الواحدة في النظام SI)
square foot	square meter	m ²	0.0929
cubic foot	cubic meter	m ³	0.2831
pound per square inch	kilopascal	kPa	6.894
pound force	newton	N	4.448
foot pound	newton meter	N.m	1.356
kip foot	kilonewton meter	kN.m	1.355
gallon per minute	liter per second	L/s	0.06309
kip per square inch	megapascal	MPa	6.89

هذا الجدول مختصر، أما من أجل التطبيقات الهندسية الموحدة فالجدول التالي يفوق هذا الجدول عدداً من المرات

كن حذراً، عند استخدامك الصيغ التي تتضمن ثابتاً عددياً، في تحويل الثابت إلى ذلك الثابت في النظام الذي تستخدمه. وعلى أي حال، لك أن تستخدم الصيغة في نظام الواحدات USCS (عندما تكون الصيغة معطاة ضمن نظام هذه الواحدات) ثم تحول النتيجة النهائية إلى ما يكافئها في النظام SI مستخدماً الجدول 1.3.

كما لا بد لك أن تقوم بعملية التحويل العكسي لبضعة صيغ معطاة في نظام الواحدات SI.

الجدول 1.2 جدول تحويل غودجي[†]

مضروباً بـ ⁺⁺	إلى	التحول من
9.290304 E - 02	square meter	square foot
3.048 E - 01	meter per second	foot per second
2.831685 E - 02	squared	squared
	cubic meter	cubic foot
2.767990 E + 04	kilogram per cubic meter	pound per cubic inch
6.309 E - 02	liter per second	gallon per minute
6.894757	kilopascal	pound per square inch
4.448222	newton	pound force
4.788026 E + 0.4	pascal	kip per square foot
E - 02	cubic meter per second	acre foot per day
1.427641	square meter	acre
4.046873 E + 03	cubic meter per second	cubic foot per second
2.831685 E - 02		

[†] يتضمن هذا الجدول قيماً متقاة محدودة. راجع تقرير المعلومات الثري الخاص بالدوائر الأميركية أو المكتب الدولي للمقاييس النظامية، النظام الدولي للوحدات (SI)، يمكن الحصول عليهما من مكتب الطاعة العائد للحكومة الأميركية (GPO)، وذلك للاطلاع على لوائح شاملة إلى أبعد الحدود لعوامل التحويل.

⁺⁺ كما هو الحال في كتابة الرموز العلمية، تبين E أساً متبوعاً بعدد موجب أو سالب يمثل القوة للعدد 10 التي يجب أن يضرب بها عامل التحويل قبل استخدامه. إذن من أجل عوامل تحويل القدم المربع نكتب: $0.09290304 = 9.290304 \times 10^{-2}$ وهو العامل الذي يجب استخدامه لتحويل القدم المربع إلى الأمتار المربعة. وبالنسبة للأسس الموجب، كما في حالة تحويل الإيكترات (الإيكتر — acre وحدة قياس للمساحة تستخدم في إنكلترا والولايات المتحدة) إلى الأمتار المربعة، يضرب بـ: $4046.8 = 4.046873 \times 10^3$. عندما لا يتم العثور على عامل التحويل، يستخدم ببساطة ما يسمى الاستبدال البعدي. إذن، لتحويل الباوند بالإنش المكعب إلى الكيلو غرام بالإنش المكعب، نجد أن: $1 \text{ Lb} = 0.4535924 \text{ Kg}$ و $1 \text{ in}^3 = 0.00001638706 \text{ m}^3$. بالتالي يكون:

$$1 \text{ Lb/in}^3 = 0.4535924 \text{ Kg}/0.00001638706 \text{ m}^3 = 27.680.01 \text{ or } 2.768 \text{ E} + 4^*$$

* تستخدم الفارزة أو الفاصلة (,) بين الأرقام لتبين خانة الآلاف مثل 10,000 عشرة آلاف و 100,000 مئة ألف و 2,000,000 مليونان. أما النقطة (.) فتوضع بين الأرقام لتبين الكسور العشرية، مثلاً نقرأ العدد 2.7 بـ اثنان فاصلة سعة بالعشرة. (المعدّ)

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement)

مضروباً بـ	إلى	التحويل من
1.23489 E + 03	cubic meter.m ³	acre foot.acre ft
4.046873 E + 03	square meter.m ²	acre
1.000000° E - 10	meter, m	angstrom,
1.013250° E + 05	pascal, Pa	atmosphere, atm (standard)
9.806650° E + 04	pascal, Pa	atmosphere, atm (technical = 1 kgf/cm ²)
1.000000° E + 05	pascal, Pa	bar
1.589873 E - 01	cubic meter, m ³	barrel (for petroleum, 42 gal)
2.359737 E - 03	cubic meter, m ³	board foot, board ft
1.05587 E + 03	joule, J	British thermal unit, Btu, (mean)
1.442279 E - 01	watt per meter kelvin, W/(m.K)	British thermal unit, Btu (International Table)/(h)(ft ²) (° F) (k, thermal conductivity)
2.930711 E - 01	watt, W	British thermal unit, Btu (International Table)/h
5.678263 E + 00	watt per square meter kelvin, W/(m ² .K)	British thermal unit, Btu (International Table)/(h) (ft ²) (° F) (C, thermal conductance)
2.326000° E + 03	joule per kilogram, J/kg	British thermal unit, Btu (International Table)/lb
4.186800° E + 03	joule per kilogram Kelvin, J/(kg.K)	British thermal unit, Btu (International Table)/(lb) (° F) (c, heat capacity)
3.725895 E + 04	joule per cubic meter, J/m ³	British thermal unit, cubic foot, Btu (International Table)/ft ³
3.523907 E - 02	cubic meter, m ³	bushel (U.S.)
4.19002 E + 00	joule, J	calorie (mean)

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الوحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً من	إلى	التحويل من
1.550003 E + 03	candela per square meter, cd/m ²	candela per square inch, cd/in ²
1.33322 E + 03	pascal, Pa	centimeter, cm, of mercury (0 °C)
9.80638 E + 01	pascal, Pa	centimeter, cm, of water (4 °C)
2.011684 E + 01	meter, m	chain
5.067075 E - 10	square meter, m ²	circular mil
8.640000° E + 04	second, s	day
8.616409 E + 04	second, s	day (sidereal)
1.745329 E - 02	radian, rad	degree (angle)
$T_K = t_C + 273.15$	Kelvin, K	degree Celsius
$t_C = (t_F - 32)/1.8$	degree Celsius, °C	degree Fahrenheit
$T_K = (t_F + 459.67)/1.8$	Kelvin, K	degree Fahrenheit
$T_K = T_R/1.8$	Kelvin, K	degree Rankine
1.761102 E - 01	Kelvin square meter per watt, K.m ² /W	(°F)(h)(ft ²)/Btu (International Table) (R, thermal resistance)
6.933471 E + 00	kelvin meter per watt, K.m/W	(°F)(h)(ft ²)/(Btu (International Table).in) (thermal resistivity)
1.000000° E - 05	Newton, N	dyne, dyn
1.828804 E + 00	meter, m	fathom
3.048000° E - 01	meter, m	foot, ft
3.048006 E - 01	meter, m	foot, ft (U.S. survey)
2.98898 E + 03	pascal, Pa	foot, ft, of water (39.2 °F) (pressure)
9.290304° E - 02	square meter, m ²	square foot, ft ²

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحويل من
2.580640 ⁻⁰⁵ E - 05	square meter per second, m ² /s	square foot per hour, ft ² /h (thermal diffusivity)
9.290304 ⁻⁰² E - 02	square meter per second, m ² /s	square foot per second, ft ² /s
2.831685 E - 02	cubic meter, m ³	cubic foot, ft ³ (volume or section modulus)
4.719474 E - 04	cubic meter per second, m ³ /s	cubic foot per minute, ft ³ /min
2.831685 E - 02	cubic meter per second, m ³ /s	cubic foot per second, ft ³ /s
8.630975 E - 03	meter to the fourth power, m ⁴	foot to the fourth power, ft ⁴ (area moment of inertia)
5.080000 ⁻⁰³ E - 03	meter per second, m/s	foot per minute, ft/min
3.048000 ⁻⁰¹ E - 01	meter per second, m/s	foot per second, ft/s
3.048000 ⁻⁰¹ E - 01	meter per second squared, m/s ²	foot per second squared, ft/s ²
1.076391 E + 01	lux, lx	footcandle, fc
3.426259 E + 00	candela per square meter, cd/m ²	footlambert, fL
1.355818 E + 00	joule, J	foot pound force, ft.lbf
2.259697 E - 02	watt, W	foot pound force per minute, ft.lbf/min
1.355818 E + 00	watt, W	foot pound force per second, ft.lbf/s
4.214011 E - 02	joule, J	foot poundal, ft poundal

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحول من
9.806650 ⁺ E + 00	meter per second squared, m/s ²	free fall, standard g
4.546090 E - 03	cubic meter, m ³	gallon, gal (Canadian liquid)
4.546092 E - 03	cubic meter, m ³	gallon, gal (U.K. liquid)
4.404884 E - 03	cubic meter, m ³	gallon, gal (U.S. dry)
3.785412 E - 03	cubic meter, m ³	gallon, gal (U.S. liquid)
4.381264 E - 08	cubic meter per second, m ³ /s	gallon, gal (U.S. liquid) per day
6.309020 E - 05	cubic meter per second, m ³ /s	gallon, gal (U.S. liquid) per minute
9.000000 ⁺ E - 01	degree (angular)	grad
1.570796 E - 02	radian, rad	grad
6.479891 ⁺ E - 05	kilogram, kg	grain, gr
1.000000 ⁺ E - 03	kilogram, kg	gram, g
1.000000 ⁺ E + 04	square meter, m ²	hectare, ha
7.456999 E + 02	watt, W	horsepower, hp (550 ft.lbf/s)
9.80950 E + 03	watt, W	horsepower, hp (boiler)
7.460000 ⁺ E + 02	watt, W	horsepower, hp (electric)
7.46043 ⁺ E + 02	watt, W	horsepower, hp (water)
7.4570 E + 02	watt, W	horsepower, hp (U.K.)
3.600000 ⁺ E + 03	second, s	hour, h
3.590170 E + 03	second, s	hour, h (sidereal)
2.540000 ⁺ E - 02	meter, m	inch, in

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحويل من
3.38638 E + 03	pascal, Pa	inch of mercury, in Hg (32 °F) (pressure)
3.37685 E + 03	pascal, Pa	inch of mercury, in Hg (60 °F) (pressure)
2.4884 E + 02	pascal, Pa	inch of water, in H ₂ O (60 °F) (pressure)
6.451600° E - 04	square meter, m ²	square inch, in ²
1.638706 E - 05	cubic meter, m ³	cubic inch, in ³ (volume or section modulus)
4.162314 E - 07	meter to the fourth power, m ⁴	inch to the fourth power, in ⁴ (area moment of inertia)
2.540000° E - 02	meter per second, m/s	inch per second, in/s
t _c = T _K - 273.15	degree Celsius, °C	kelvin, K
9.806650° E + 00	newton, N	kilogram force, kgf
9.806650° E + 00	newton meter, N·m	kilogram force meter, kg·m
9.806650° E + 00	kilogram, kg	kilogram force second squared per meter, kgf·s ² /m (mass)
9.806650° E + 04	pascal, Pa	kilogram force per square centimeter, kgf/cm ²
9.806650° E + 00	pascal, Pa	kilogram force per square meter, kgf/m ²
9.806650° E + 06	pascal, Pa	kilogram force per square millimeter, kgf/mm ²
2.777778 E - 01	meter pr second, m/s	kilometer per hour, km/h
3.600000° E + 06	joule, J	kilowatt hour, kWh
4.448222 E + 03	newton, N	kip (1000 lbf)

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الوحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحويل من
6.894757 E + 06	pascal, Pa	kip per square inch, kip/in ² ksi
5.144444 E - 01	meter per second, m/s	knot, kn (international)
3.183099 E + 03	candela per square meter, cd/m ²	lambert, L
1.000000° E - 03	cubic meter, m ³	liter
1.000000° E - 08	weber, Wb	Maxwell
1.000000° E + 00	siemens, S	mho
2.540000° E - 08	meter, m	microinch, μ in
1.000000° E - 06	meter, m	micron, μ m
2.540000° E - 05	meter, m	mil, mi
1.609344° E + 03	meter, m	mile, mi (international)
1.609347 E + 03	meter, m	mile, mi (U.S. statute)
1.852000° E + 03	meter, m	mile, mi (international nautical)
1.852000° E + 03	meter, m	mile, mi (U.S. nautical)
2.589988 E + 06	square meter, m ²	square mile mi ² (international)
2.589998 E + 06	square metr, m ²	square mile, mi ² (U.S. statute)
4.470400° E - 01	meter per second, m/s	mile per hour, mi/h (international)
1.609344° E + 00	kilometer per hour, km/h	mile per hour, mi/h (international)
1.000000° E + 02	pascal, Pa	millibar, mbar
1.33322 E + 02	pascal, Pa	millimeter of mercury, mmHg (0 °C)
2.908882 E - 04	radian, rad	minute (angle)
6.000000° E + 01	second, s	minute, min
5.983617 E + 01	second, s	minute (sidereal)

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement)

/تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحويل من
2.834952 E - 02	kilogram, kg	ounce, oz (avoirdupois)
3.110348 E - 02	kilogram, kg	ounce, oz (troy or apothecary)
2.841307 E - 05	cubic meter, m ³	ounce, oz (U.K. fluid)
2.957353 E - 05	cubic meter, m ³	ounce, oz (U.S. fluid)
2.780139 E - 01	newton, N	ounce force, ozf
7.061552 E - 03	newton meter, N-m	ounce force.inch, ozf.in
3.051517 E - 01	kilogram per square meter, kg/m ²	ounce per square foot, oz (avoirdupois)/ft ²
3.390575 E - 02	kilogram per square meter, kg/m ²	ounce per square yard, oz (avoirdupois)/yd ²
5.72135 E - 11	kilogram per pascal second meter, kg/(Pa.s.m)	perm (0 °C)
5.74525 E - 11	kilogram per pascal second meter, kg/(Pa.s.m)	perm (0 °C)
1.45322 E - 12	kilogram per pascal second meter, kg/(Pa.s.m)	perm inch, perm.in (0 °C)
1.45929 E - 12	kilogram per pascal second meter, kg/(Pa.s.m)	perm inch, perm.in (23 °C)
5.506105 E - 04	cubic meter, m ³	pint, pt (U.S. dry)
4.731765 E - 04	cubic meter, m ³	pint, pt (U.S. liquid)
1.000000° E - 01	pascal second, Pa°s	poise, p (absolute viscosity)
4.535924 E - 01	kilogram, kg	pound, lb (avoirdupois)

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحويل من
3.732417 E - 01	kilogram, kg	pound, lb (troy or apothecary)
2.926397 E - 04	kilogram square meter, kg.m ²	pound square inch, lb.in ² (moment of inertia)
1.488164 E + 00	pascal second, Pa.s	pound per foot ⁴ second, lb/ft ⁴ .s
4.882428 E + 00	kilogram per square meter, kg/m ²	pound per square foot, lb/ft ²
1.601846 E - 01	kilogram per cubic meter, kg/m ³	pound per cubic foot, lb/ft ³
9.977633 E + 01	kilogram per cubic meter, kg/m ³	pound per gallon, lb/gal (U.K. liquid)
1.198264 E + 02	kilogram per cubic meter, kg/m ³	pound per gallon, lb/gal (U.S. liquid)
1.259979 E - 04	kilogram per second, kg/s	pound per hour, lb/h
2.767990 E + 04	kilogram per cubic meter, kg/m ³	pound per cubic inch, lb/in ³
7.559873 E - 03	kilogram per second, kg/s	pound per minute, lb/min
4.535924 E - 01	kilogram per second, kg/s	pound per second, lb/s
5.932764 E - 01	kilogram per cubic meter, kg/m ³	pound per cubic yard, lb/yd ³
1.382550 E - 01	newton, N	poundal
4.448222 E + 00	newton, N	pound-force, lbf
1.355818 E + 00	newton meter, N.m	pound force foot, lbf.ft
1.459390 E + 01	newton per meter, N/m	pound force per foot, lbf/ft

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحول من
4.788026 E + 01	pascal, Pa	pound force per square foot, lbf/ft ²
1.751268 E + 02	newton per meter, N/m	pound force per inch, lbf/in
6.894757 E + 03	pascal, Pa	pound force per square inch, lbf/in ² (psi)
1.101221 E - 03	cubic meter, m ³	quart, qt (U.S. dry)
9.463529 E - 04	cubic meter, m ³	quart, qt (U.S. liquid)
5.029210 E + 00	meter, m	rod
4.848137 E - 06	radian, rad	second (angle)
9.972696 E - 01	second, s	second (sidereal)
9.290304* E + 00	square meter, m ²	square (100 ft ²)
2.916667 E - 02	kilogram, kg	ton (assay)
1.016047 E + 03	kilogram, kg	ton (long, 2240 lb)
1.000000* E + 03	kilogram, kg	ton (metric)
3.516800 E + 03	watt, W	ton (refrigeration)
2.831685 E + 00	cubic meter, m ³	ton (register)
9.071847 E + 02	kilogram, kg	ton (short, 2000 lb)
1.38939 E + 03	kilogram per cubic meter, kg/m ³	ton (long per cubic yard, ton)/yd ³
1.186553 E + 03	kilogram per cubic meter, kg/m ³	ton (short per cubic yard, ton)/yd ³
8.896444 E + 03	newton, N	ton force (2000 lbf)
1.000000* E + 03	kilogram, kg	tonne, t
3.600000* E + 03	joule, J	watt hour, Wh
9.144000* E - 01	meter, m	yard, yd

الجدول 1.3 عوامل التحويل إلى نظام الواحدات الدولي للقياسات (SI Units of Measurement) /تابع/

مضروباً بـ	إلى	التحوّل من
8.361274 E - 01	square meter, m ²	square yard, yd ²
7.645549 E - 01	cubic meter, m ³	cubic yard, yd ³
3.153600° + E + 07	second, s	year (365 days)
3.155815 E + 07	second, s	year (sidereal)

* تعني أن جميع القيم التي وضعت عليها هذه الإشارة هي قيم دقيقة. أخذ هذا الجدول من؛

E380, "Standard for Metric Practice." American Society for Testing and Materials

2

الصيغ الخاصة بالجيزان

Beam Formulas

أثناء عملية تحليل الجيزان ذات النماذج المتعددة، تستخدم الخصائص الهندسية للمقاطع العرضية المتنوعة للمساحات. يعطينا الشكل 2.1 المعادلات الخاصة بحساب المساحة A وعزم العطالة I ومعامل المقطع أو النسبة $S = I/C$ ، حيث C هي المسافة من المحور المحايد إلى أبعد ليف في المقطع العرضي للجائز أو لأي عنصر إنشائي آخر. الواحدات المستخدمة هي الإنشات والميليمترات وقواها (مضاعفاتها). الصيغ الموجودة في الشكل 2.1 صحيحة في كل من نظامي الواحدات USCS و SI.

لقد تم إعطاء صيغ مساعدة خاصة ببضعة مجموعات من نماذج مختلفة للجيزان في الشكل 2.2. يمكن استخدام كل من نظامي الواحدات USCS و SI في أي صيغة من الصيغ القابلة للتطبيق على الجيزان الفولاذية والخشبية.

لاحظ أن: W = الحمولة، lb (kN)

L = الطول، ft (m)

R = رد الفعل، lb (kN)

V = قوة القص، lb (kN)

M = عزم الانعطاف (الانحناء)، lb.ft (N.m)

D = التشوه (الانزياح أو التحول الناتج عن الحمولة)، ft (m)

a = التباعد المجازي للحمولة عن أحد طرفي الجائز، ft (m)

b = التباعد المجازي للحمولة عن الطرف الآخر، ft (m)

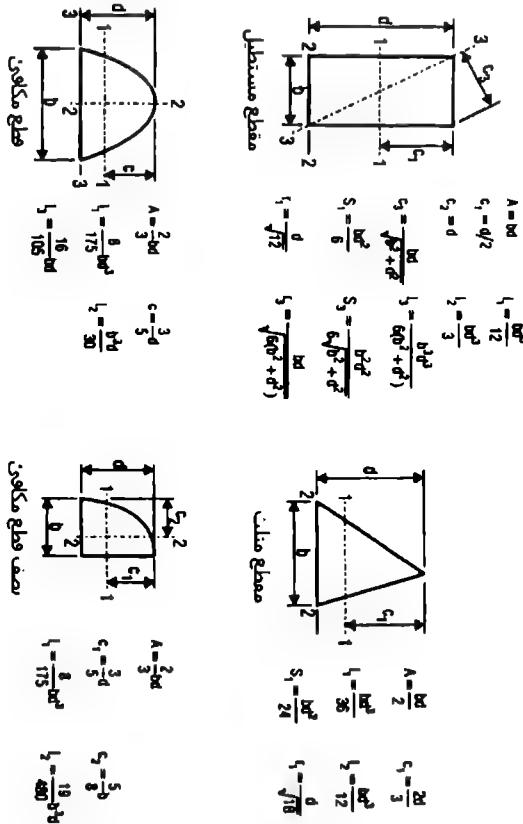
E = عامل المرونة، lb/in² (kPa)

I = عزم العطالة in⁴ (dm⁴)

$<$ = أقل من

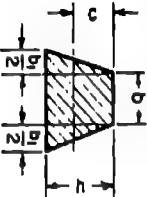
$>$ = أكبر من

يعطي الشكل 2.3 معادلات الخط المرن (elastic-curve) من أجل أنواع متعددة من الجيزان الموشورية*. وَسُمِّيتِ الحَمُولَةُ في هذه المعادلات بـ $P, lb (kN)$. والتباعد المحازي بـ $k, ft (m)$ وبـ $c, ft (m)$



الشكل 2.1 الخصائص الهندسية للمقاطع

* الجيزان الموشورية هي جيزان ذات مقطع عرضي ثابت. سميت بذلك لأن التباعد بين أحرف أو مولدات الموشور يبقى ثابتاً؛ يعني أن مساحة المقطع العرضي للموشور ثابتة. (المعدة).

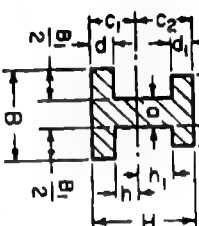
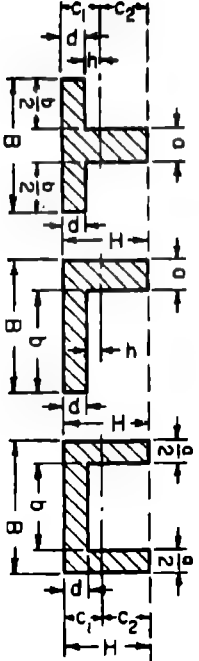
نوع المقاطع	عزم العطالة	معامل المقطع	نصف قطر العطالة*
Equilateral Polygon A = area R = rad circumscribed circle r = rad inscribed circle n = no. sides a = length of side Axis as in preceding section of octagon	$I = \frac{A}{24} (6R^2 - a^2)$ $= \frac{A}{48} (12r^2 + a^2)$ $= \frac{A R^2}{4}$ (approx)	$\frac{I}{c} = \frac{I}{r}$ $= \frac{I}{R \cos \frac{180^\circ}{n}}$ $= \frac{A R}{4}$ (approx)	$\sqrt{\frac{6R^2 - a^2}{24}} \approx \frac{R}{2}$ $\sqrt{\frac{12r^2 + a^2}{48}}$
	$I = \frac{6b^3 + 6bb_1 + b_1^3}{36(2b + b_1)} h^3$ $c = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3b^2 + 2b_1^2}{2b + b_1}}$	$\frac{I}{c} = \frac{6b^3 + 6bb_1 + b_1^3}{12(3b + 2b_1)} h^2$	$\frac{h \sqrt{12b^2 + 12bb_1 + 2b_1^2}}{6(2b + b_1)}$

* يسمى أيضاً بنصف قطر الدوران

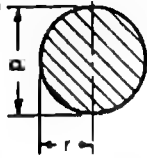
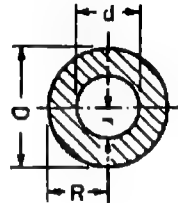
الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

	$I = \frac{Bh^3 + b h^3}{12}$ $\frac{I}{c} = \frac{Bh^3 + bh^3}{6H}$	$\sqrt{\frac{Bh^3 + bh^3}{12(Bh + bh)}}$
	$I = \frac{BH^3 - b h^3}{12}$ $\frac{I}{c} = \frac{BH^3 - b h^3}{6H}$	$\sqrt{\frac{BH^3 - bh^3}{12(BH - bh)}}$

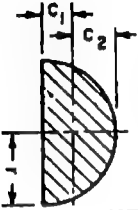
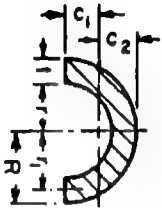
الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

نوع المقطع	عزم العطالة وعوامل المقطع	نصف قطر العطالة
	$I = \frac{1}{12}(Bc_1^3 - B_1h^3 + bc_2^3 - b_1h_1^3)$ $c_1 = \frac{1}{2} \frac{aH^2 + B_1d^2 + b_1d_1(2H - d_1)}{aH + B_1d + b_1d_1}$	$\sqrt{\frac{I}{(Bd + b_1d_1) + a(h + h_1)}}$
	$I = \frac{1}{12}(Bc_1^3 - b_1h^3 + ac_2^3)$ $c_1 = \frac{1}{2} \frac{aH^2 + bd^2}{aH + bd}$ $c_2 = H - c_1$ $r = \sqrt{\frac{I}{ Bd + a(H - d) }}$	

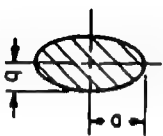
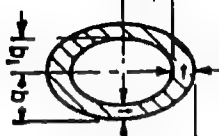
الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

نوع المقطع	عزم العطالة	معامل المقطع	صف قطر العطالة
	$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{A}{4} r^2$ $= 0.054 d^4 \text{ (approx)}$	$\frac{I}{c} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi r^3}{4} = \frac{A}{4} r$ $= 0.1 d^3 \text{ (approx)}$	$\bar{r} = \frac{d}{2}$
 $d_m = \frac{1}{2}(D + d)$ $t = \frac{1}{2}(D - d)$	$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $= \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)$ $= \frac{1}{4} A (R^2 + r^2)$ $= 0.05 (D^4 - d^4)$ (approx)	$\frac{I}{c} = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D}$ $= \frac{\pi}{4} \frac{R^4 - r^4}{R}$ $= 0.8 d_m^3 \text{ (approx)}$ <p>when $\frac{t}{d_m}$ is very small</p>	$\frac{\sqrt{R^2 + r^2}}{2} = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4}$

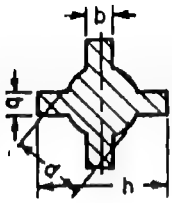
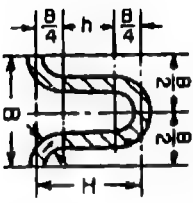
الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

نوع المقطع	عمر المقاطع	معامل المقطع	نصف قطر المقاطع
	$I = r^4 \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right)$ $= 0.1098r^4$	$\frac{I}{c_1} = 0.1908r^3$ $\frac{I}{c_2} = 0.2587r^3$ $c_1 = 0.4244r$	$\frac{\sqrt{9\pi^2 - 64}}{6\pi}, r = 0.264r$
	$I = 0.1098(R^4 - r^4)$ $- \frac{0.263R^2r^2(R - r)}{R + r}$ $= 0.36r^4 \text{ (approx)}$ <p>when $\frac{I}{r^4}$ is very small</p>	$c_1 = \frac{4}{3\pi} \frac{R^2 + Rr + r^2}{R + r}$ $c_2 = R - c_1$	$\frac{\sqrt{\frac{2I}{\pi(R^2 - r^2)}}}{\pi(R^2 - r^2)}$ $= 0.31r \text{ (approx)}$

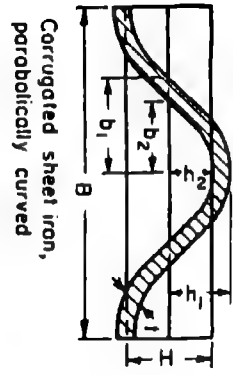
الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

	$I = \frac{\pi a^3 b}{4} = 0.7854 a^3 b$	$\frac{I}{c} = \frac{\pi a^3 b}{4} = 0.7854 a^3 b$	$\frac{a}{2}$
	$I = \frac{\pi}{4} (a^3 b - a_1^3 b_1)$ $= \frac{\pi}{4} a^2 (a + 3b) l$ <p>(approx)</p>	$\frac{I}{c} = \frac{\pi}{4} a (a + 3b) l$ <p>(approx)</p>	$\frac{\frac{I}{\pi a b - a_1 b_1}}{2 \sqrt{\frac{a + 3b}{a + b}}} =$ <p>(approx)</p>

الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

نوع المقطع	عمر المقطع وعامل المقطع	عامل المقطع
	$I = \frac{1}{12} \left[\frac{\pi}{16} d^4 + b(h^3 - d^3) + b^3(h - d) \right]$ $\frac{I}{c} = \frac{1}{6h} \left[\frac{3\pi}{16} d^4 + b(h^3 + d^3) + b^3(h - d) \right]$	$\sqrt{\frac{\frac{I}{c}}{\frac{\pi d^2}{4} + 2b(h - d)}}$ <p>(approx)</p>
	$I = \frac{t}{4} \left(\frac{\pi B^3}{16} + B^3h + \frac{\pi B h^3}{2} + \frac{2}{3} h^3 \right)$ $h = H - \frac{1}{2}B$ $\frac{I}{c} = \frac{2I}{H + t}$	$\sqrt{2 \left(\frac{\frac{I}{c}}{\frac{\pi B}{4} + h} \right) t}$

الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع



$$I = \frac{64}{105} (b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3), \text{ where}$$

$$h_1 = \frac{1}{2}(H + t) \quad b_1 = \frac{1}{2}(B + 2.6t)$$


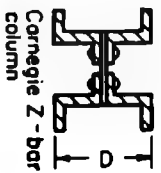
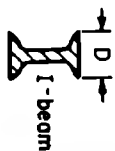
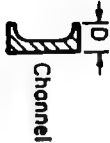

$$h_2 = \frac{1}{2}(H - t) \quad b_2 = \frac{1}{2}(B - 2.6t)$$


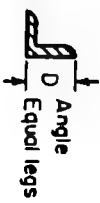


$$\frac{I}{c} = \frac{2I}{H + t}$$

$$r = \sqrt{\frac{3I}{11.2B + 5.2H}}$$

الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

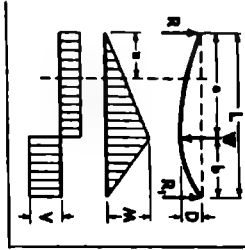
القيم التقريبية لصف قطر العتالة الأصغر r

				
Phoenix column	Carnegie Z - bar column	I - beam	Channel	Deck beam
$r = 0.3636D$	$0.295D$	$D/4.58$	$D/3.54$	$D/6$

			
T-beam	Angle Equal legs	Angle Unequal legs	Cross
$r = D/4.74$	$D/5$	$BD/2.6(B + D)$	$D/4.74$

الشكل 2.1 /تابع/ الخصائص الهندسية للمقاطع

الحالة 2: جيزان مسند من طرفه مع حمولة مركزة في اى نقطة		
$R = \frac{Wb}{L}$ $R_1 = \frac{W}{L}$ $V (max) = R$ when $a < b$ and R_1 when $a > b$ $A_c = \frac{Wb}{L}$ $V = \frac{Wb}{L}$	<p>Point of load:</p> $M (max) = \frac{Wab}{L}$ $A_c =$ when $a < b$ $M = \frac{Wab}{L}$	$A_c =$ when $a = \sqrt{b(a+2b)} + 3$ and $b > a$ $D (max) = \frac{Wab}{6 EIL} (a+2b) \sqrt{b(a+2b)} + 27 EIL$ $A_c =$ when $a < a$ $D = \frac{Wb^2}{6 EIL} [2L(L-a) - b^2 - (L-a)^2]$ $A_c =$ when $a > a$ $D = \frac{W}{6 EIL} (L-a) [2Lb - b^2 - (L-a)^2]$

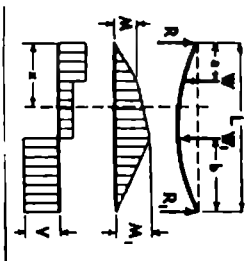


* بذلك للحالة 2 لان الحالة الاولى عمل حالة خنجر بسيط مسند من طرفه وحمل بحمولة مركزة في وسطه. وطبيعة الحال، يمكن استخلاص الصيغ المتبقية بهذه الحالة من الحالة 2 بعد ان نمر اسفل $a = b = \frac{L}{2}$ المبرمج.

الشكل 2.2 الصيغ الخاصة بالجيزان. مأخوذة من

(From J. Callender, Time-Saver Standards for Architectural Design Data, 6th ed., McGraw-Hill, N.Y.)

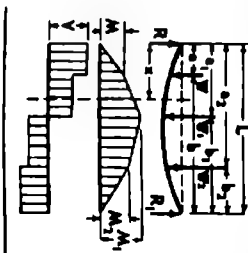
الحالة 3: حائل مسود من طرفه مع حمولتين مركبتين غير متساويتين بصورة غير متطرفة			
	$R = \frac{1}{L} \left[W_1 (L-a) + W_2 b \right]$ $R_1 = \frac{1}{L} \left[W_2 a + W_1 (L-b) \right]$ $V (\text{max}) = \text{Maximum Reaction}$ $\text{At } x \text{ when } x > a \text{ and } x < (L-b)$ $V = R - W$	<p>At point of load W_1:</p> $M = -\frac{a}{L} \left[W_1 (L-a) + W_2 b \right]$ <p>At point of load W_2:</p> $M = -\frac{b}{L} \left[W_2 a + W_1 (L-b) \right]$ <p>At x when $x > a$ or $x < (L-b)$</p> $M = -W \frac{x}{L} (L-x) + W_1 \frac{x^2}{L}$	



الشكل 2.2 الصيغ الخاصة بالجيزان /تابع/ .

الحالة 4: حكر مسود من طرفه مع تلاب حملان مركزة غير متساوية وموزعة بصورة غير متساوية

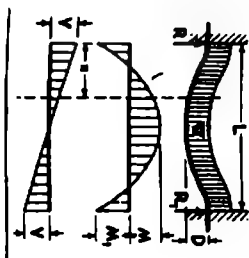
$R = \frac{W_b + W_1(a_1 + W_2b_2)}{L}$ $R_1 = \frac{W_a + W_1a_1 + W_2a_2}{L}$ $V(\text{max.}) = \text{Maximum Reaction}$ $\text{At } x \text{ when } x > 0 \text{ and } < a_1$ $V = R - W$ $\text{At } x \text{ when } x > a_1 \text{ and } < a_2$ $V = R - W - W_1$	$M = Ra$ $\text{At } x \text{ when } x = 0$ $M_1 = Ra_1 - W(a_1 - a)$ $\text{At } x \text{ when } x = a_2$ $M_2 = Ra_2 - W(a_2 - a) - W_1(a_2 - a_1)$ $M(\text{max.}) = M \text{ when } W = R \text{ or } > R$ $M(\text{max.}) = M_1 \text{ when } \begin{cases} W_1 + W = R \text{ or } > R \\ W_1 + W_2 = R_1 \text{ or } > R_1 \end{cases}$ $M(\text{max.}) = M_2 \text{ when } W_2 = R_1 \text{ or } > R_1$	
--	---	--



الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

الحالة 5: حنك موزون من طرفيه مع حمل مستمر موزون بانتظام عليه.

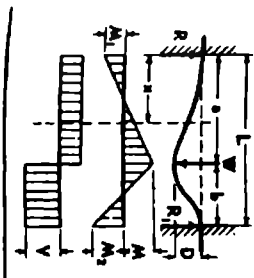
$R = R_1 = V (\max) = \frac{WL}{2}$ $V = \frac{W}{2}x - \frac{Wx^2}{L}$	$A_t \text{ center:}$ $M (\max) = \frac{WL^2}{24}$ $A_t \text{ supports:}$ $M_1 (\max) = \frac{WL^2}{12}$ $A_t \text{ x:}$ $M = \frac{W}{2L} \left(-\frac{L^3}{8} + Lx^2 - x^3 \right)$	$A_t \text{ center:}$ $D (\max) = \frac{1}{384} \frac{WL^3}{EI}$ $A_t \text{ x:}$ $D = \frac{Wx^2}{24 EIL} (L^2 - 2Lx + x^2)$
--	---	--



الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

الحالة 6. جذر متوفى من طرفه مع حمله مركزه في نقطه ما عليه.

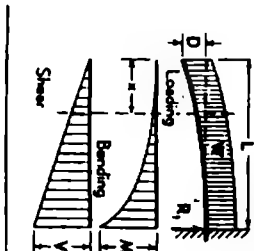
$R = W \left(\frac{b^3 (3a+b)}{l^3} \right)$ $R_1 = W \left(\frac{a^2 (3b+a)}{l^3} \right)$ $V \text{ (max)} = R \text{ when } a < b$ $= R_1 \text{ when } a > b$ $A \propto \text{when } a < a$ $V = R$	$A \propto \text{support } R:$ $M_1 \text{ (max. neg. mom.)} = -W \frac{ab^2}{l^3}$ $A \propto \text{support } R_1:$ $M_2 \text{ (max. neg. mom.)} = -W \frac{a^2b}{l^3}$ $A \propto \text{point of load:}$ $M \text{ (max)} = Ra + M_1 = Ra - W \frac{ab^2}{l^3}$ $A \propto: M = Ra - W \frac{ab^2}{l^3}$	$A \propto \text{when } a = \frac{2aL}{3a+b} \text{ and } a > b$ $D \text{ (max)} = \frac{2W a^3 b^2}{3EI (3a+b)^3}$ $\text{when } a < a$ $D = \frac{W b^3 a^2}{6EI l^3} (3aL - 3a^2 - l^2)$
--	---	--



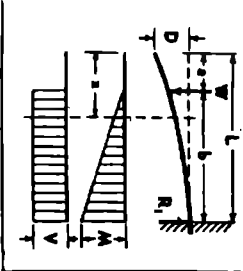
الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

الحالة 7. حذر متحرك من أحد طرفيه (ظفر) مع حمولة مستمرة وموجبة لطولها l .

$R_1 = V(\max) = W$ $At\ x::$ $V = \frac{W}{L}x$	$At\ fixed\ end:$ $M(\max) = \frac{WL}{2}$ $At\ x::$ $M = \frac{Wx^2}{2L}$	$At\ free\ end:$ $D(\max) = \frac{WL^3}{8EI}$ $At\ x::$ $D = \frac{W}{24EI} (x^3 - 4L^2x + 2L^3)$
--	---	--



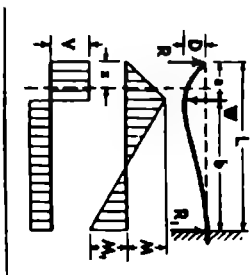
الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

الحالة 8. جازر متحرك من أحد طرفيه (ظفر) مع حمل موزع مركزي في وسطه ما عله.			
	$R_1 = V \text{ (max.)} = W$ $At \ x \text{ when } x > a$ $V = W$ $At \ x \text{ when } x < a$ $V = 0$	$At \ \text{fixed end:}$ $M \text{ (max.)} = Wb$ $At \ x \text{ when } x > a$ $M = W'(x-a)$	$At \ \text{free end:}$ $D \text{ (max.)} = \frac{Wl^2}{6EI} \left[2 - \frac{3a}{l} + \left(\frac{a}{l}\right)^3 \right]$ $At \ \text{point of load:}$ $D = \frac{W}{3EI} (l-a)^3$ $At \ x \text{ when } x > a$ $D = \frac{W}{6EI} \left(-3al^2 + 2l^2 + a^3 - 3ax^2 - 3l^2x + 6alx \right)$
			

الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

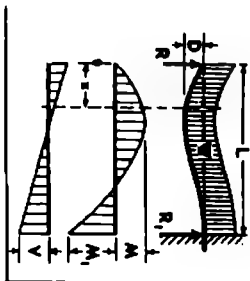
الحالة 9. جملر موزون من طرف ومسند من الطرف الآخر مع موله مركزة في نقطة ما عليه

$R = W \left(\frac{3b^2l - b^3}{2l^3} \right)$ $R_1 = W \left(\frac{3al^2 - a^3}{2l^3} \right)$ $A_1 \propto$ when $x < a$ $V = R$ $A_2 \propto$ when $x > a$ $V = R - W$	A_2 point of load: $M_1 (\max.) = W a \left(\frac{3b^2l - b^3}{2l^3} \right)$ A_1 Fixed end: $M_1 (\max.) = W L \left(\frac{3b^2l - b^3}{2l^3} \right) - W (l - a)$ $A_2 \propto$ when $x < a$ $M = W a \left(\frac{3b^2l - b^3}{2l^3} \right)$ $A_2 \propto$ when $x > a$ $M = W a \left(\frac{3b^2l - b^3}{2l^3} \right) - W (x - a)$	$A_2 \propto$ when $x = a = .414L$ $D (\max.) = .0098 \frac{WL^3}{EI}$ $A_2 \propto$ when $x < a$ $D = \frac{1}{6EI} \left[\frac{3RL^3}{3} - Ra^3 - 3W(l-a)^2 a \right]$ $A_2 \propto$ when $x > a$ $D = \frac{1}{6EI} \left[R_1 (2l^3 - 3l^2a + a^3) - 3Wa(l-a)^2 \right]$
--	--	--



الشكل 2.2 تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

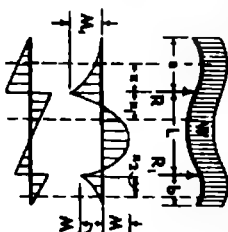
الحالة 10. جملر مؤثري من طرف ومسند من الطرف الآخر مع حمولة مستمرة وموزعة بانتظام عليه		
$R = \frac{3}{8} W$ $R_1 = V(\max) = \frac{3}{8} W$ $\Delta \epsilon ::$ $V = \frac{3}{8} W - \frac{Wx}{L}$	$\Delta \epsilon ::$ when $x = \frac{3}{8} L$ $M(\max) = \frac{9}{128} WL$ $\Delta \epsilon$ fixed end: $M_1(\max) = \frac{1}{8} WL$ $\Delta \epsilon ::$ $M = \frac{Wx}{L} \left(\frac{3}{8} L - \frac{1}{2} x \right)$	$\Delta \epsilon ::$ when $x = .4213L$ $D(\max) = .0034 \frac{WL^2}{EI}$ $\Delta \epsilon ::$ $D = \frac{Wx}{48EI} [-3Lx^2 + 2x^3 + L^2]$



الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

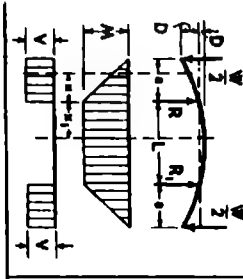
الحالة 11. جاكز يمد بطرفين غير متساويين بعد مسافته مع حوله مستمرة ونوعه بالمثل علم.

$\frac{w}{a+L+b} = w = \text{load per unit of length}$ $R = w \left[(a+L)^2 - b^2 \right] + 2L$ $R_1 = w \left[(b+L)^2 - a^2 \right] + 2L$ $V(\text{max}) = w \text{ or } R - w$ $\text{At } x: \text{ when } x < a, V = w(a-x)$ $\text{At } x_1: \text{ when } x_1 < L, V = R - w(a+x_1)$ $\text{At } x_2: \text{ when } x_2 < b, V = w(b-x_2)$	$\text{At } x_1: \text{ when } x_1 = \frac{R}{w} - a$ $M(\text{max}) = R \left(\frac{R}{2w} - a \right)$ $\text{At } R: M_1 = \frac{1}{2} w a^2$ $\text{At } R_1: M_1 = \frac{1}{2} w b^2$ $\text{At } x: \text{ when } x < a, M = \frac{1}{2} w (a-x)^2$ $\text{At } x_1: \text{ when } x_1 < L, M = \frac{1}{2} w (a+x_1)^2 - R x_1$ $\text{At } x_2: \text{ when } x_2 < b, M = \frac{1}{2} w (b-x_2)^2$	
--	--	--

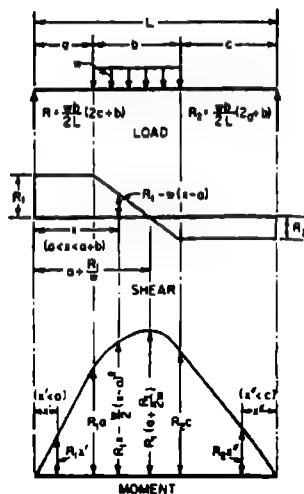


الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

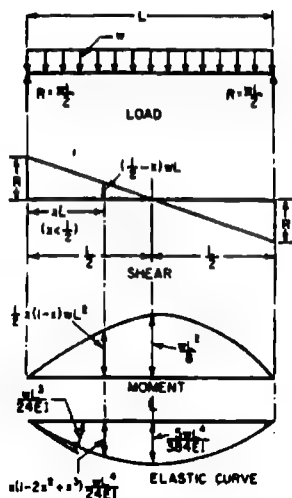
الحالة 12. جكر يمد بطرفين متصلين مع حافته مركزين متساويين في طولها			
	$R = R_1 = V(\max) = \frac{W}{2}$ $V = \frac{W}{2}$	$At x_1: \text{ when } x_1 < L$ $M(\max) = \frac{W a}{2}$ $At x: \text{ when } x < a$ $M = \frac{W}{2} (a - x)$	$At \text{ free ends:}$ $D = \frac{W a^3 (3L + 2a)}{12EI}$ $At \text{ center:}$ $D = \frac{W a L^3}{16EI}$



الشكل 2.2 /تابع/ الصيغ الخاصة بالجيزان.

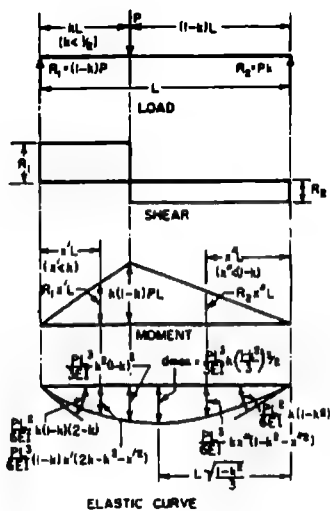


(b)

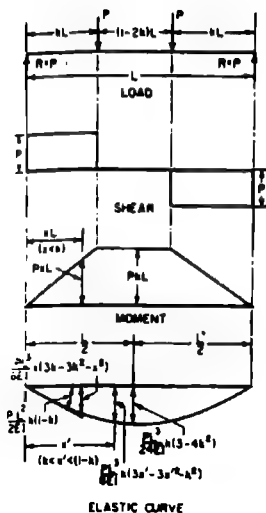


(a)

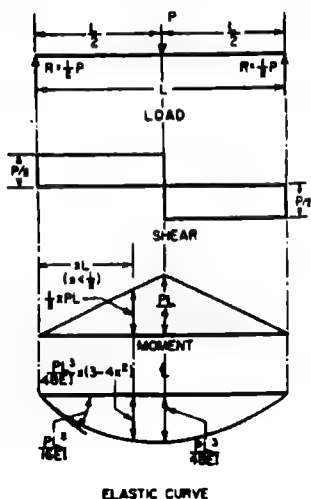
الشكل 2.3 معادلات الخط المرن للجزئان المشورية. (a) مخطط قوى القص والعزوم المشورية (السهم والدورات) لجائر مشوري يستند استنادا بسيطا ومحمل بحمولة مستمرة منتظمة. (b) مخطط قوى القص والعزوم لجائر مشوري يستند استنادا بسيطا ومحمل بحمولة مستمرة منتظمة تمتد على جزء منه. (c) مخطط قوى القص والعزوم والتشوهات لجائر مشوري يستند استنادا بسيطا ومحمل بحمولة مركزة في نقطة ما عليه.



(c)

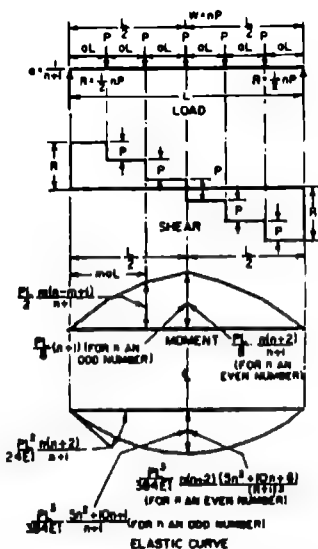


(e)

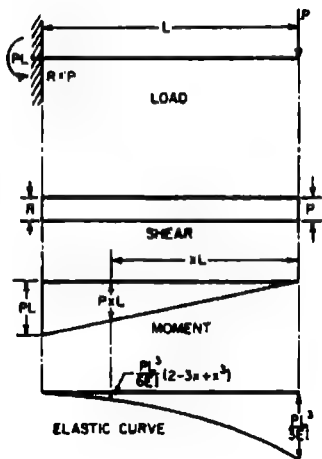


(d)

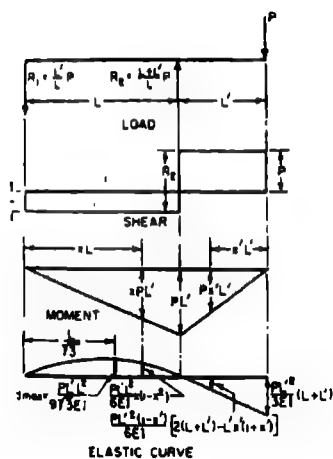
الشكل 2.3 /تابع/ معادلات الخط المرن
للجيزان المشورية. (d) مخطط قوى القص
العزوم والتشوهات لجائز مشوري يستند
استنادا بسيطاً ومحمل بمحمولة مركزة في
وسط مجازه. (e) مخطط قوى القص
والعزوم والتشوهات لجائز مشوري يستند
استنادا بسيطاً ومحمل بمحاملتين مركزتين
متساويتين. (f) مخطط قوى القص والعزوم
والتشوهات لجائز مشوري يستند استنادا
بسيطاً ومحمل بمحولات متساوية عديدة
تباعداً بالتساوي على مجازه.



(f)

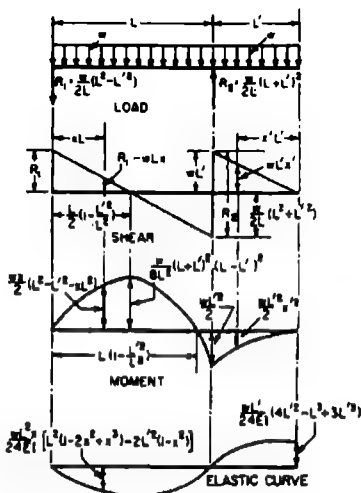


(h)

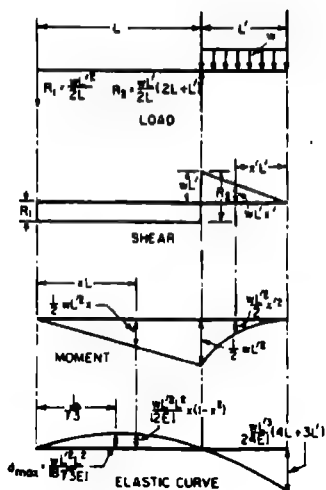


(g)

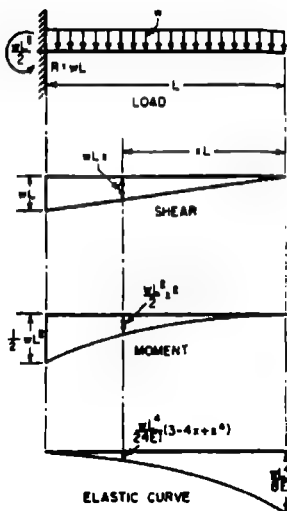
الشكل 2.3 /تابع/ معادلات الخط المرن
للجيزان الموشورية. (g) مخطط قوى القص
والعزوم والتشوهات لجائز بسيط يمتد
بظفر ومحمل بحمولة مركزة في ظفره. (h)
مخطط قوى القص والعزوم والتشوهات
لظفر موشوري محمل بحمولة مركزة في
طرفه. (i) مخطط قوى القص والعزوم
والتشوهات لجائز بسيط يمتد بظفر ومحمل
بحمولة منتظمة مستمرة ممتدة على كامل
بجازه.



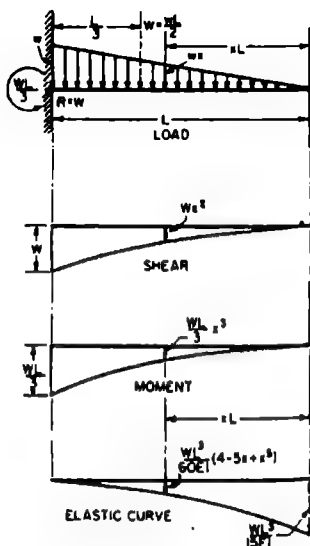
(i)



(k)

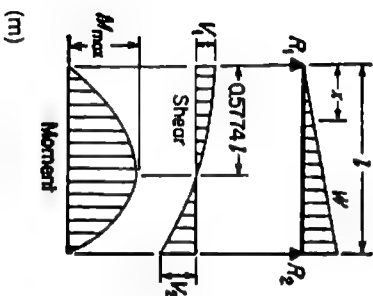


(j)



(l)

الشكل 2.3 /تابع/ معادلات الخط المرن للجيزان المشورة. (j) مخطط قوى القص والعزم والتشوهات لظفر محمل بحمولة مستمرة منتظمة تمتد على كامل مجازه. (k) مخطط قوى القص والعزم والتشوهات لجائز بسيط يمتد بظفر ومحمل بحمولة منتظمة تتوزع على ظفره فقط. (l) مخطط قوى القص والعزم والتشوهات لظفر مشوري محمل بحمولة موزعة مثلثية.



$$R_1 = V_1$$

$$R_2 = V_2 \text{ max}$$

$$V_2$$

$$M_{\text{max}} \left(\text{at } z = \frac{l}{\sqrt{3}} = .5774l \right)$$

$$M_2$$

$$\Delta_{\text{max}} \left(\text{at } z = l \sqrt{1 - \sqrt{\frac{8}{15}}} = .5193l \right)$$

$$\Delta_2$$

$$= \frac{w}{3}$$

$$= \frac{2w}{3}$$

$$= \frac{w}{3} - \frac{wx^2}{l^2}$$

$$= \frac{2wl}{3\sqrt{3}} = .128377$$

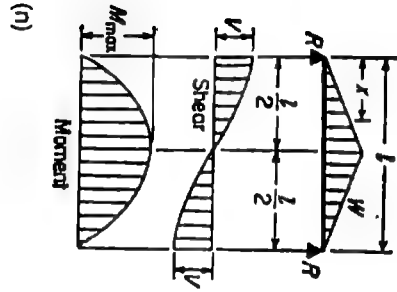
$$= \frac{wx}{3l^2} (l^2 - x^2)$$

$$= .01304 \frac{wl^4}{Bf}$$

$$= \frac{180Bf/l^4}{(3x^4 - 10x^2 + 7l^2)}$$

الشكل 2.3

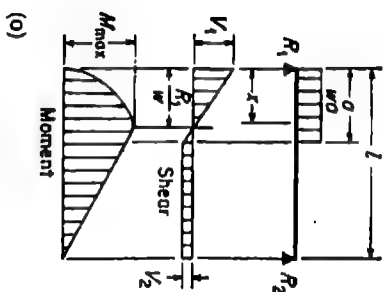
تابع/ معادلات الخط المرن للجزان المشورية. (m) جائز بسيط ومحمل بحمولة تزايد بانتظام بدءاً من أحد طرفيه.



(n)

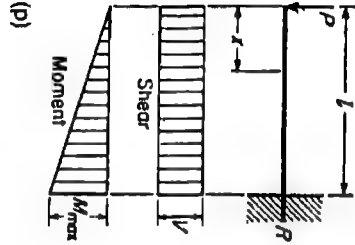
$$\begin{aligned}
 R &= V \\
 V_x \left(\text{when } x < \frac{l}{2} \right) &= \frac{11}{27} (l^2 - 4x^2) \\
 M_{\max} \text{ (at center)} &= \frac{11}{117} l^3 \\
 M_x \left(\text{when } x < \frac{l}{2} \right) &= \frac{11}{117} x \left(\frac{1}{2} - \frac{2x^2}{3l^2} \right) \\
 \Delta_{\max} \text{ (at center)} &= \frac{11^2 l^3}{60 E I} \\
 \Delta_x &= \frac{11^2 x}{480 E I^3} (3l^2 - 4x^2)
 \end{aligned}$$

الشكل 2.3 /تابع/ معادلات الخط المرن للجيزان المشورية. (n) جائر بسيط ومحمل بمحملة تتزايد بانتظام بدءاً من طرفيه إلى وسطه.



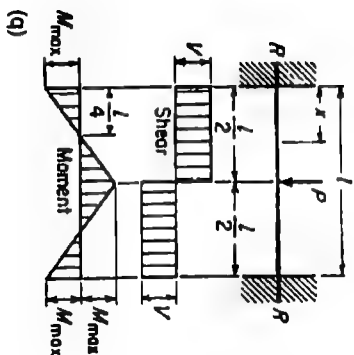
$$\begin{aligned}
 R_1 &= V_1 \Delta x &= -\frac{w a}{2} (2l - a) \\
 R_2 &= V_2 &= -\frac{w a^2}{2l} \\
 V &(\text{when } x < a) &= R_1 - wx \\
 M_{\max} \left(\text{at } x = \frac{R_1}{w} \right) &= \frac{R_1^2}{2w} \\
 M_x (\text{when } x < a) &= R_1 x - \frac{w x^2}{2} \\
 M_x (\text{when } x > a) &= R_2 (l - x) \\
 \Delta_x (\text{when } x < a) &= \frac{w x}{24 E I l} [a^2 (2l - a)^2 - 2ax(2l - a) + l a^3] \\
 \Delta_x (\text{when } x > a) &= \frac{w a^3 (l - x)}{24 E I l} (4l - 2x^2 - a^2)
 \end{aligned}$$

الشكل 2.3 /تابع/ معادلات الخط المرن للحيزان الموشورية. (o) حائز بسيط محمل بمحمولة منتظمة تتوزع جزئياً على أحد طرفيه.



$$\begin{aligned}
 R &= P \\
 M_{\max} \text{ (at fixed end)} &= P l \\
 M_x &= P x \\
 \Delta_{\max} \text{ (at free end)} &= \frac{P l^3}{3 E I} \\
 \Delta_x &= \frac{P}{6 E I} (2 l^3 - 3 l^2 x + x^3)
 \end{aligned}$$

الشكل 2.3 تابع/ معادلات الخط المرن للجيزان الموشورية. (p) جائر ظفري محمل بمحملة مركزة في نهايته الطليقة.



$$\begin{aligned}
 R &= V & &= \frac{P}{2} \\
 M_{\max} \text{ (at center and ends)} &= \frac{Pl}{8} \\
 M_x \text{ (when } x < \frac{l}{2}) &= \frac{P}{8} (4x - l) \\
 \Delta_{\max} \text{ (at center)} &= \frac{Pl^3}{192EI} \\
 \Delta_x &= \frac{Px^3}{48EI} (3l - 4x)
 \end{aligned}$$

الشكل 2.3 /تابع/ معادلات الخط المرن للجيّزان المشورية. (q) جاذز موثوق من طرفيه ومحمل بمحمولة مركزة في وسطه.

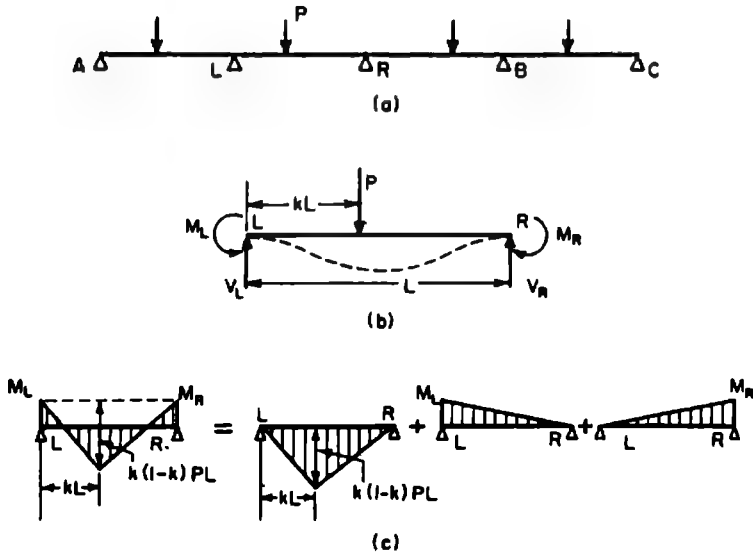
Continuous Beams

الجيزان المستمرة

الجيزان المستمرة والأطر هي منشآت غير مقررة سكونياً (ستاتيكيًا). فعزوم الإنعطاف في هذا النوع من الجيزان توابع للمقاطع الهندسية وعزوم العطالة والحمولات والمجازات وعامل المرونة الخاص بكل عنصر على انفراد. يبين الشكل 2.4 كيف يمكن معاملة أي جائر في جزائر مستمر كجائر منفرد، وذلك عن طريق مخطط عزم الانعطاف المحلل إلى مركباته الأساسية. وقد تم إيضاح الصيغ الخاصة بعملية التحليل على المخطط. أما ردود أفعال الجيزان المستمرة فيمكن إيجادها باستخدام الصيغ الموجودة في الشكل 2.5. كما أعطيت صيغ عزوم الوثق للجيزان ذات عزم العطالة الثابت (جيزان موشورية) والمحملة بحمولات من نماذج متنوعة وشائعة، في الشكل 2.6. يمكن استخدام المنحنيات في الشكل 2.7 لتسريع حساب عزوم الوثق في الجيزان الموشورية. وقبل أن يتم استخدام المنحنيات في الشكل 2.7 لابد أن تكون المواصفات المميزة لآلية التحميل قد تم حسابها عن طريق الصيغ الموجودة في الشكل 2.8. وتتضمن هذه المواصفات المميزة للتحميل؛ $\bar{x}L$ ، موقع مركز ثقل التحميل باعتبار أن الحمولات هي حمولة مركزة واحدة، و $G^2 = \sum b_n^2 P_n / W$ ، حيث $b_n L$ هي المسافة من كل حمولة P_n إلى مركز ثقل التحميل (تؤخذ موجبة نحو اليمين)، و $S^3 = \sum b_n^3 P_n / W$. وقد أعطيت هذه القيم في الشكل 2.8 من أجل بعض نماذج التحميل الشائعة.

الصيغ المتعلقة بالعزوم الناشئة عن التشوهات (سهوم ودورانات) في جائر موثوق النهائيين، قد أعطيت في الشكل 2.9. ولاستخدام طريقة توزيع العزوم المعدلة بالنسبة لجائر موثوق، كما هو الحال في الشكل 2.9، لابد أن تعرف أولاً عزوم الوثق لجائر ذي مساند متوضعة على سويا مختلفة. ففي الشكل 2.9، نلاحظ أن الطرف أو المسند الأيمن للجائر ذي المجاز L أعلى بمقدار d من الطرف الأيسر. ولإيجاد عزوم الوثق، نقوم أولاً بتشويه الجائر عن طريق وضع مفصلين في طرفيه؛

بعد ذلك نوثق الطرف الأيمن تاركين الطرف الأيسر متمفصلاً، كما في الشكل 2.9b.



الشكل 2.4 أي مجاز من الجائز المستمر (a) يمكن أن يُعامل كجائز بسيط كما هو موضح في الشكلين (b) و (c). لقد تم تحليل مخطط العزم في الشكل (c) إلى مركباته الأساسية.

بملاحظة أن الخط الواصل بين المسندين يصنع زاوية تساوي تقريباً إلى d/L (ظلها) بالمقارنة مع الوضع الأصلي للجائز، فإننا نقوم بتطبيق العزم عند الطرف المفصلي لتوليد دوران طرفي هناك مساوياً إلى d/L . وبمساعدة تعريف القساوة (الصلابة)، يساوي هذا العزم إلى ذلك العزم المبيّن على الطرف الأيسر في الشكل 2.9b. عملية مناقلة العزم إلى الطرف الأيمن موضحة بالصيغة العلوية على الطرف الأيمن للشكل 2.9b.

وباستخدام قانون التشوهات المتبادلة عكسياً، نحصل على عزوم الوثق للجائز المتشوّه في الشكل 2.9 كما يلي:

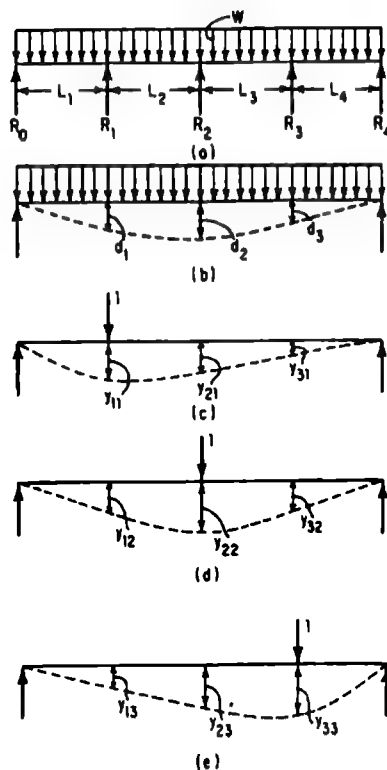
$$M_L^F = K_L^F (1 + C_R^F) \frac{d}{L} \quad (2.1)$$

$$M_R^F = K_R^F (1 + C_L^F) \frac{d}{L} \quad (2.2)$$

وبطريقة مشابهة يمكن إيجاد عزم الوثق، لجائز يستند على مسندين من سويتين مختلفتين أحدهما مفصل والآخر وثاقة، من العلاقة:

$$M^F = K \frac{d}{L} \quad (2.3)$$

حيث K هي الصلابة الفعلية لنهاية الجائز الموثوقة؛ حيث أنه بالنسبة للحيزان ذات عزم العطالة المتغير، تساوي K إلى $(1 - C_L^F C_R^F)$ مرة من صلابة الوثاقة.



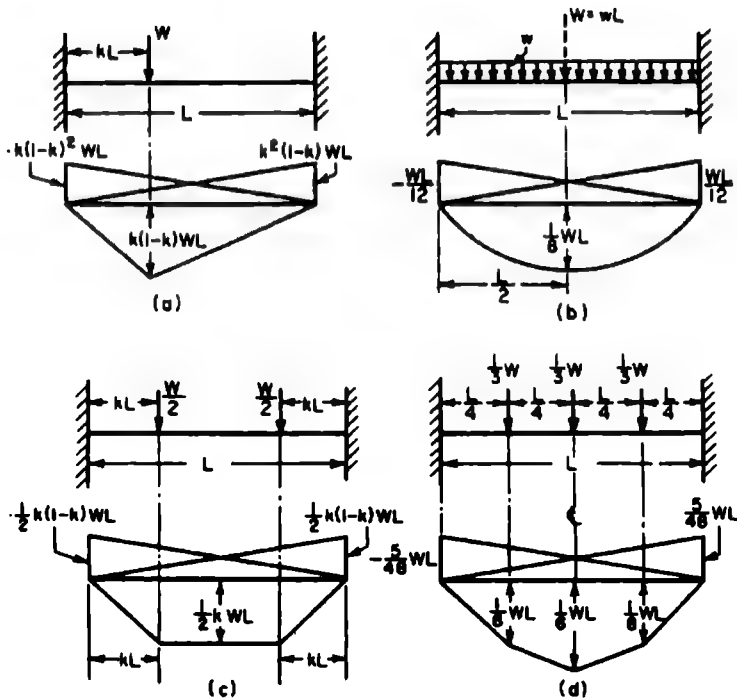
$$d_1 = y_{11}R_1 + y_{12}R_2 + y_{13}R_3$$

$$d_2 = y_{21}R_1 + y_{22}R_2 + y_{23}R_3$$

$$d_3 = y_{31}R_1 + y_{32}R_2 + y_{33}R_3$$

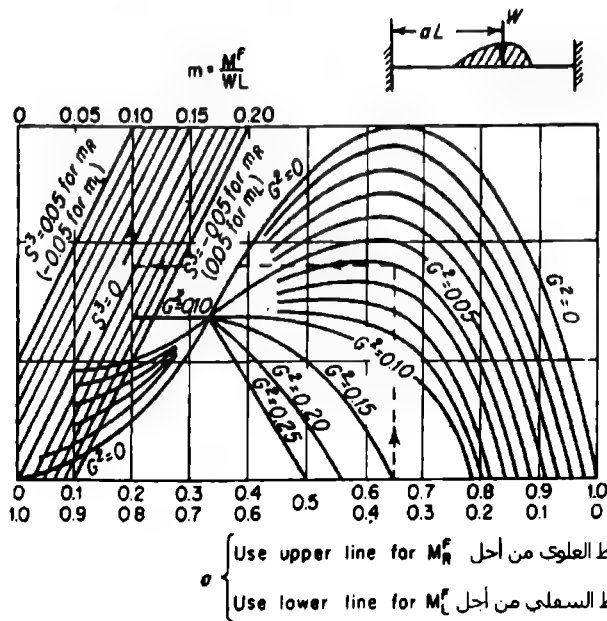
الشكل 2.5

يتم إيجاد ردود الأفعال في الجائز المستمر (a)، بجعل الجائز مقررًا سكونيًا (ستاتيكيًا). عن طريق حذف المساند الداخلية مثلاً. في (b) تُحسب التشوهات (الموافقة) عند المساند الداخلية المستبعدة. في (c) و (d) و (e) تُحسب التشوهات من أجل حمولة واحدة مطبقة فوق كل مسند محذوف، وذلك للحصول على المعادلات المتعلقة بكل مجهول فائض.

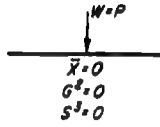


الشكل 2.6 عزوم الوثق لجانز موشوري.

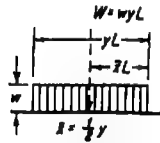
- (a) عزما الوثق من أجل حمولة مركزة.
- (b) عزما الوثق من أجل حمولة مستمرة منتظمة.
- (c) عزما الوثق من أجل حمولتين متساويتين مركزيين.
- (d) عزما الوثق من أجل ثلاث حمولات متساوية مركزة.



الشكل 2.7 مخطط بياني خاص بحساب عزوم الوثق الناتجة عن أي نوع من التحميل.



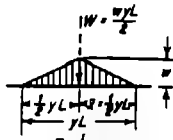
الحالة 1



$$G^2 = \frac{1}{12} y^2$$

$$S^3 = 0$$

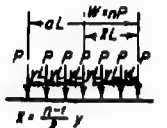
الحالة 3



$$G^2 = \frac{1}{24} y^2$$

$$S^3 = 0$$

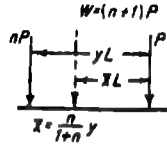
الحالة 5



$$G^2 = \frac{n^2-1}{12} y^2 = \frac{n+1}{n-1} \cdot \frac{y^2}{12}$$

$$S^3 = 0$$

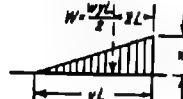
الحالة 7



$$G^2 = \frac{n}{(n+1)^2} y^2$$

$$S^3 = \frac{n(n-1)}{(n+1)^3} y^3$$

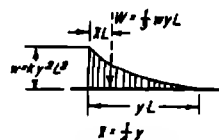
الحالة 2



$$G^2 = \frac{1}{18} y^2$$

$$S^3 = \frac{1}{180} y^3$$

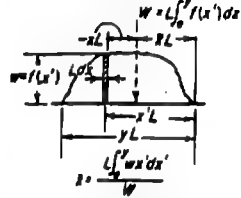
الحالة 4



$$G^2 = \frac{y^2}{180}$$

$$S^3 = \frac{1}{180} y^3$$

الحالة 6

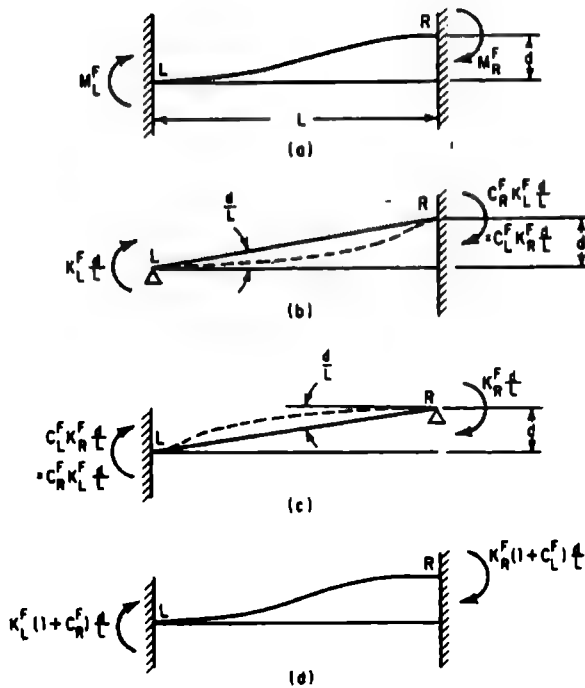


$$G^2 = \frac{\int_0^y x^2 f(x') dx'}{W}$$

$$S^3 = \frac{\int_0^y x^3 f(x') dx'}{W}$$

الحالة 8

الشكل 2.8 الصفات المميزة لآليات التحميل.



الشكل 2.9 العزوم الناشئة عن تشوهات جاذز موثوق الطرفين.

المقاومة الحديدية للجيزان المستمرة

Ultimate Strength Of Continuous Beams

إن طرق حساب المقاومة الحديدية للجيزان المستمرة والأطر تعتمد على نظريتي تثبيت الحدود العلوية والدنيا لما يسمى قدرة استيعاب الحمولة أو السعة الحملية.

1. نظرية الحد العلوي: الحمولة المحسوبة بالاعتماد على آلية الخيار مفترضة، أكبر دائماً من الحمولة الحديدية القصوى وفي أحسن الأحوال تساويها.

2. نظرية الحد الأدنى: الحمولة المقابلة أو الموافقة لشرط التوازن المعطى بقيمة افتراضية لا على التعيين للمجاهيل الفائضة، هي حمولة أصغر من الحمولة الحدية وفي أحسن الأحوال تساويها، شرط ألا تتجاوز العزوم في أي مكان من الجائز العزم M_p .

طريقة التوازن التي تعتمد على نظرية الحد الأدنى، سهلة الاستخدام عادة من أجل الحالات البسيطة.

في الجائز المستمر الموضح في الشكل 2.10، نلاحظ أن نسبة العزم اللدن الموجود في نهايتي المجاز الوسطي إلى العزم في مركز هذا المجاز، هي k مرة ($k > 1$).

يُبين الشكل 2.10b، مخطط العزم للجائز المقرر عن طريق تجاهل العزمين في B و C ومخطط العزم للجائز المقرر المطبق عليه العزمان M_B و M_C .

إذن، باستعانة الشكل 2.10C يتم الحفاظ على التوازن عندما:

$$\begin{aligned} M_p &= \frac{wL^2}{4} - \frac{1}{2} M_B - \frac{1}{2} M_C \\ &= \frac{wL^2}{4 - kM_p} \\ &= \frac{wL^2}{4(1+k)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

يمكن استخدام طريقة الآلية في تحليل الأطر التي تمتلك مقطعاً ثابتاً وقواعداً موثوقة، كما هو مبين في الشكل 2.11. وباستخدام هذه الطريقة، على إطار عمل بحمولة شاقولية في وسط مجازه الأفقي ومساوية إلى 1.5 مرة من الحمولة الطرفية المطبقة أفقياً عليه، تكون الحمولة الحدية للإطار 4.8 Mp/L أفقياً و 7.2 Mp/L شاقولياً في وسط مجازه.

يحدث العزم الأعظمي في المجازين الداخليين AB و CD عندما:

$$x = \frac{L}{2} - \frac{M}{wL} \quad (2.5)$$

أو إذا كان:

$M = k M_P$ وذلك عندما $x = \frac{L}{2} - \frac{k M_P}{wL}$ ويتشكل المفصل اللدن في هذه المرحلة عندما يساوي العزم $k M_P$.

ومن أجل شرط التوازن:

$$\begin{aligned} k M_P &= \frac{w}{2} x(L-x) - \frac{x}{L} k M_P \\ &= \frac{w}{2} \left(\frac{L}{2} - \frac{k M_P}{wL} \right) \left(\frac{L}{2} + \frac{k M_P}{wL} \right) - \left(\frac{1}{2} - \frac{k M_P}{wL} \right) k M_P \end{aligned}$$

وبإصلاحها نقودنا إلى:

$$\frac{k^2 M_P^2}{wL^2} - 3k M_P + \frac{wL^2}{4} = 0 \quad (2.7)$$

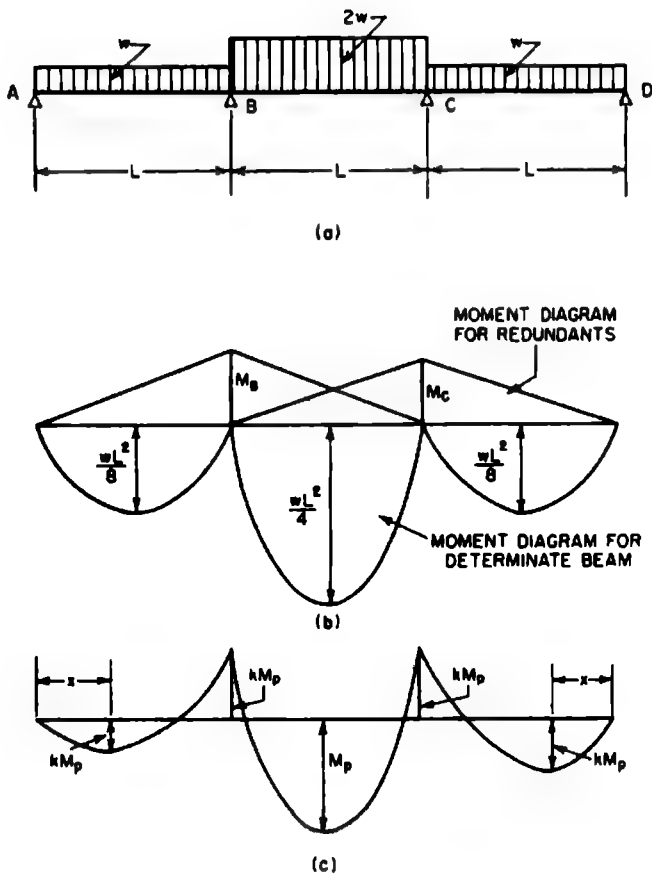
وعند تعويض قيمة M_P المحسوبة سابقاً، يصبح لدينا؛

$$7 K^2 + 4 K = 4 \text{ أو } K(K + 4/7) = 4/7$$

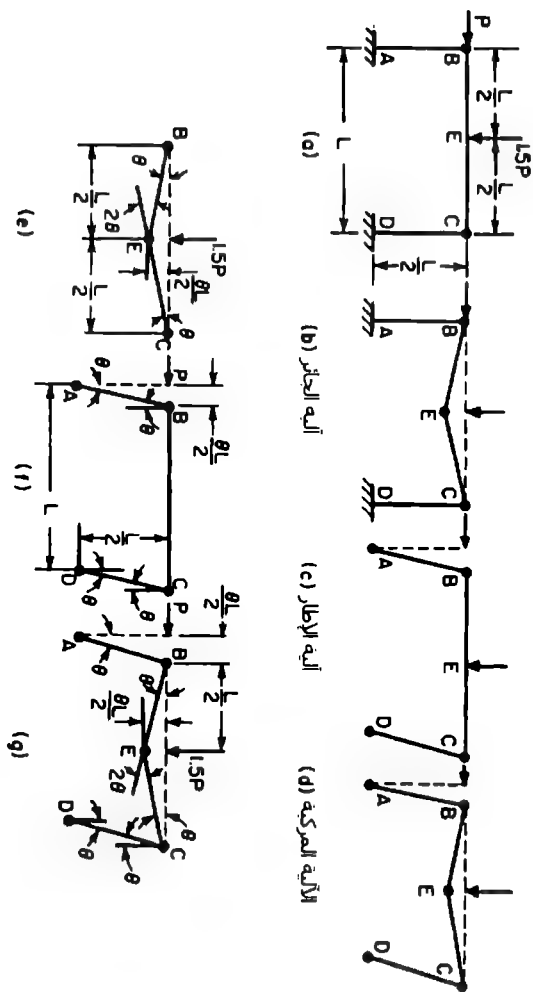
ومنها نجد؛ $K = 0.523$.

وتكون الحمولة الحدية:

$$wL = \frac{4 M_P (1 + K)}{L} = 6.1 \frac{M_P}{L} \quad (2.8)$$



الشكل 2.10 يُبين في (a) جائر مستمر يحمل بحمولة منتظمة في مجازيه الوسطي أكبر بمرتين من الحمولة المنتظمة في مجازيه الجانبين. ويُنَّ في (b) مخطوطا العزم من أجل شرط التحميل هذا، مرة بوجود المجاهيل الفائضة ومرة بدونها. في (c) تم ضم مخطوطي العزم، لإعطاء الحالات الحدية القصوى التي يفترض عندها أن تتشكل المفاصل اللدنة.



الشكل 2.11 احتمالات الحمولة الحدية لإطار صلب ذي مقطع ثابت وبقواعد موثوقة.

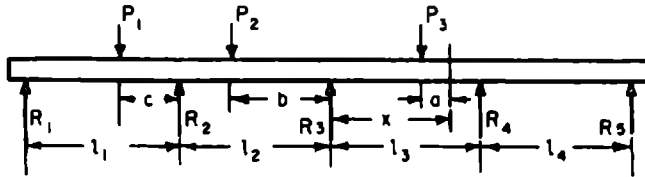
يساوي عزم الانعطاف في مقطع ما من أي جائر مستمر إلى عزم الانعطاف في أي مقطع ثان زائد قوة القص في المقطع الثاني مضروبة بذراعها زائد ناتج ضرب جميع القوى الخارجية الموجودة بين النقطتين الأولى والثانية بأذرعها، مع الانتباه، أن لكل قوة ذراعها الخاص بها.

وهكذا، نجد في الشكل 2.12؛

$$V_x = R_1 + R_2 + R_3 - P_1 - P_2 - P_3$$

$$M_x = R_1 (l_1 + l_2 + x) + R_2 (l_2 + x) + R_3 x - P_1 (l_2 + c + x) - P_2 (b + x) - P_3 a$$

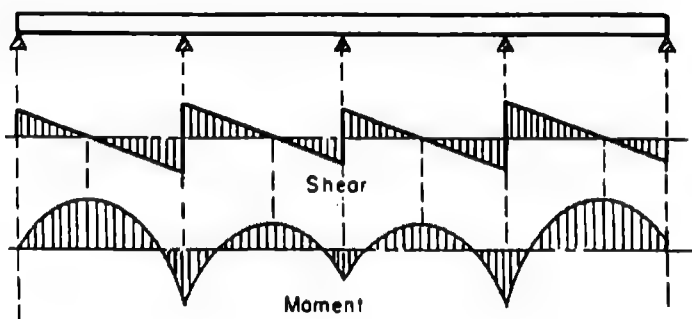
$$M_x = M_3 + V_3 x - P_3 a$$



الشكل 2.12 جائر مستمر

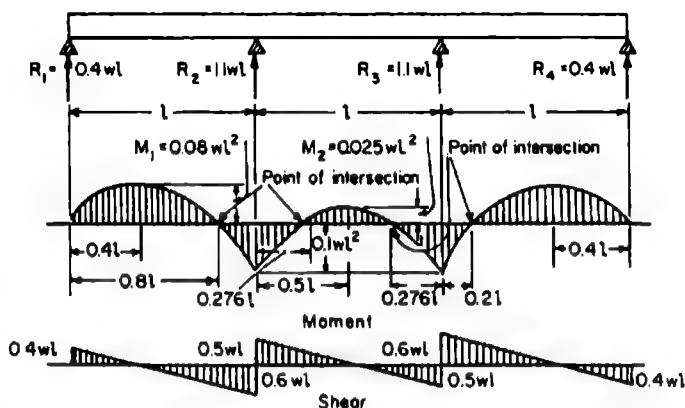
يعطي الجدول 2.1 قيمة العزم عند مساند مختلفة لجائر مستمر محمل بمحمولة موزعة بانتظام على مجازات متساوية، كما ويعطي قيم قوى القص على كل جانب من جانبي كل مسند. لاحظ أن قوة القص من إشارتين مختلفتين على كل جانب من جانبي المسند وأن مجموع قوتي القص على جانبي المسند يساوي إلى رد الفعل.

يوضح الشكل 2.13 العلاقة بين مخططي العزم والقص في جائر مستمر مُحمل بمحمولة موزعة بانتظام بأربعة مجازات متساوية. (انظر الجدول 2.1)، فهذا الجدول 2.1 يعطي أيضاً عزم الانعطاف الأعظمي الذي يحدث بين المساند، بالإضافة إلى موقع هذا العزم ونقاط الانعطاف.



الشكل 2.13 العلاقة بين مخططي العزم والقص لجائز مستمر محمل بمحمولة موزعة بانتظام ذي أربعة مجازات متساوية.

يُبين الشكل 2.14 قيم التوابع (عزوم الانعطاف وقوى القص) لجائز مستمر محمل بمحمولة موزعة بانتظام يستند على أربعة مساند وبثلاثة مجازات متساوية.



الشكل 2.14 قيم تابعي العزم والقص لجائز مستمر محمل بمحمولة موزعة بانتظام يستند على أربعة مساند وبثلاثة مجازات متساوية.

الجدول 2.1 جيران مستمرة عملة كموزعة بانتظام على مجازات متساوية. (3) هي الموزونة التغطية بواسطة الطريق 1 = طول كل جيران

عدد المساند	تسمية مسند الجار	قوة القص على كل جانب من المسند يكن - R، يسار - L رد الفعل في أي مسند هو R + L	المسند	الزوم فوق كل مسند	الزوم الاعظمي في كل جيار	المسافة الى نقطة الزوم الاعظمي مقاسة بـ من بين المسند	المسافة الى نقطة الانقطاع مقاسة بـ بداية من بين المسند
2	1 or 2	0	1/2	0	0.125	0.500	None
3	1	0	3/8	0	0.0703	0.375	0.750
2	2	5/8	5/8	1/8	0.0703	0.625	0.250
4	1	0	4/10	0	0.080	0.400	0.800
2	2	6/10	5/10	1/10	0.025	0.500	0.276, 0.724
1	1	0	11/28	0	0.0772	0.393	0.786
5	2	17/28	15/28	3/28	0.0364	0.536	0.266, 0.806
3	3	13/28	13/28	2/28	0.0364	0.464	0.194, 0.734
1	1	0	15/38	0	0.0779	0.395	0.789
2	2	23/38	20/38	4/38	0.0332	0.526	0.268, 0.783
3	3	18/38	19/38	3/38	0.0461	0.500	0.196, 0.804
1	1	0	41/104	0	0.0777	0.394	0.788
2	2	63/104	55/104	11/104	0.0340	0.533	0.268, 0.790

عدد المساند	تسمية مسند المحار	قوة القص على كل جانب من المسند $L = R$ يسار ، R يمين يكون رد الفعل في أي مسند هو $L + R$	البرم الاعظمي في كل محار	المسافة إلى نقطة الاعظمي مقاسة ببدء من يمين المسند	المسافة إلى نقطة الاعظمي مقاسة ببدء من يمين المسند
7	3	49/104	51/104	0.0433	0.490
4	4	53/104	53/104	0.0433	0.510
1	1	0	56/142	0.0778	0.394
2	2	86/142	75/142	0.0338	0.528
3	3	67/142	70/142	0.0440	0.493
4	4	72/142	71/142	0.0405	0.500
تطبق القيم على		w^1	w^1	w^2	1

القيم العددية المبينة في هذا الجدول هي القيم العددية للمساير (الرموز) الموجودة في أسفل كل عمود.

نظرية ماكسويل

Maxwell's Theorem

عندما يُطبَّق عددٌ من الحملات على جائر، فإن التشوه في أي نقطة من الجائر يساوي إلى مجموع التشوهات، عند هذه النقطة، الناشئة عن تطبيق كل حمولة على نحو مستقل. إن نظرية ماكسويل تُحدّد أنه إذا طبقت حملتان واحدتان على جائر في نقطتين A و B، فإن التشوه في A الناتج عن واحدة الحمولة في B يساوي إلى التشوه في B الناتج عن واحدة الحمولة في A.

نظرية كاستيليانو

Castigliano's Theorem

تُحدّد هذه النظرية أن التشوه في نقطة تطبيق قوة خارجية تفعل في جائر، يساوي إلى المشتق الجزئي، لعمل التحول، بالنسبة لهذه القوة. وهكذا، إذا كانت P القوة و f التحول و U عمل التحول، فالمشتق الجزئي يساوي قدرة أو طاقة المعاودة المرونية (الطاقة المرنة)

$$\frac{dU}{dP} = f$$

تبعاً لمبدأ العمل الأصغري، يحدث التحول لأي منشأ بطريقة يكون فيها عمل التحول أصغرياً.

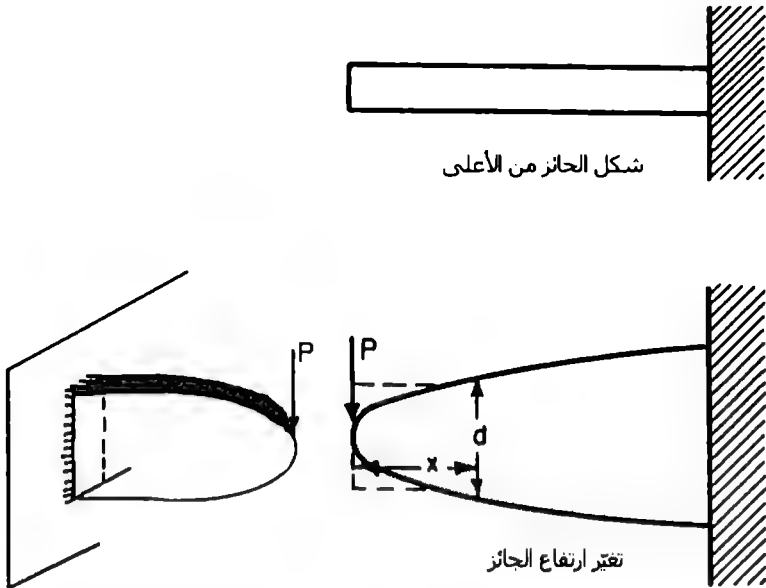
الجيزان ذات المقاومة الموحدة Beams Of Uniform Strength

يتغيّر كثيراً، في الجيزان ذات المقاومة الموحدة، مقطعها العرضي الذي تبقى فيه واحدة الإجهاد S ثابتة، بينما يتغيّر كلٌّ من I/C و M فيه. ففي الجيزان التي لها مقطع عرضي مستطيل ذو عرض b وارتفاع d، يكون $I/C = bd^2/6$ و $M = Sbd^2/6$. أما في الجائر الظفري الذي له مقطع عرضي مستطيل وواقع تحت تأثير الحمولة P، فيكون فيه $Px = Sbd^2/6$.

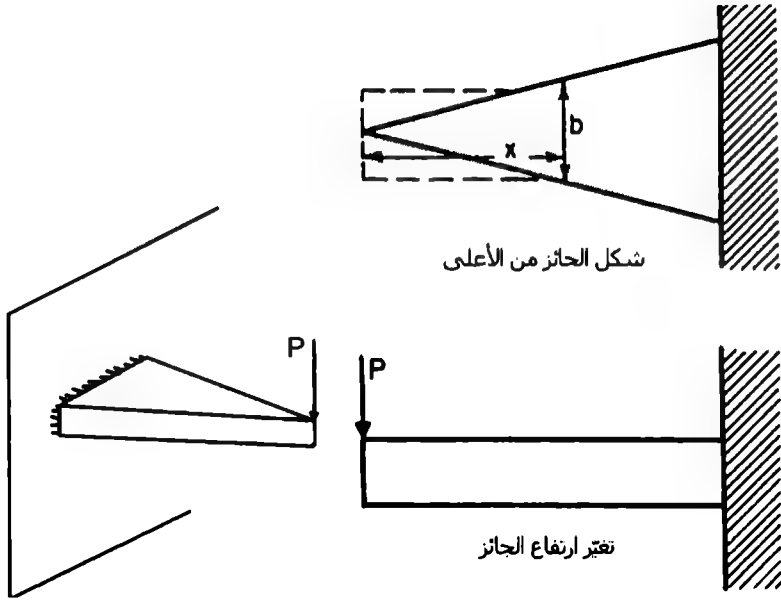
فإذا كانت b ثابتة، فإن d^2 تتغير مع تغير x (كعلاقة تابعة) مما يعني أن شكل المقطع الجانبي للجائز الظفري سيكون قطعاً مكافئاً، كما هو مبين في الشكل 2.15. وفي حال كانت d هي الثابتة، فهذا يعني أن b هي التي تتغير مع تغير x ، وسيكون شكل الجائز الظفري من منظور علوي مثلثاً كما هو مبين في الشكل 2.16.

تتطلب قوة القص المؤثرة في نهاية الجائز تعديلاً للأشكال المحددة سابقاً. فالمساحة المطلوبة لمقاومة القص هي P/S_v في الظفر و R/S_v في الجائز البسيط.

تبين لنا الخطوط المنقطعة في الشكلين 2.15 و 2.16 التغيرات الضرورية المطلوبة لتمكين الجيزان الظفري من مقاومة قوة القص.



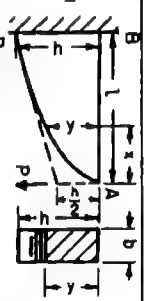
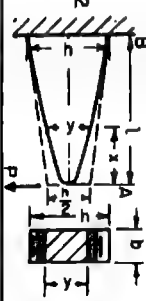
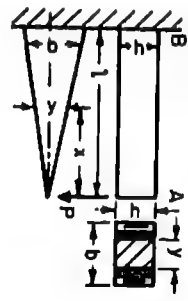
الشكل 2.15 جائز على شكل قطع مكافئ ذو مقاومة موحدة.



الشكل 2.16 حائز على شكل مثلث ذو مقاومة موحدة.

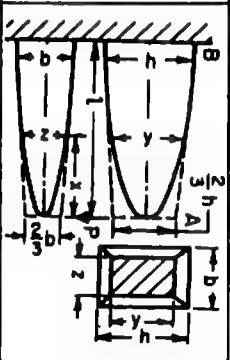
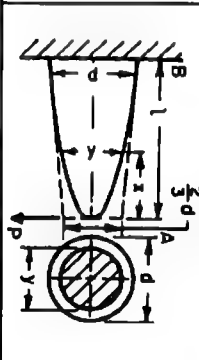
ومهما يكن، تجعل عمليات التصنيع المكلفة والهدر في المواد، تجعل العديد من هذه الأشكال غير عملية مع استثناء الفولاذ الصلب (حديد الزهر). يبين الشكل 2.17 بعضاً من المقاطع البسيطة ذات المقاومة الموحدة. وبطبيعة الحال، لم تؤخذ في أي شكل من هذه الأشكال قوة القص في الاعتبار.

1. جازر موزون من طرف وعمل بحمولة مركزة من الطرف الآخر

الصيغ	شكل تغير الارتفاع والعرض من منظور جانبي وعطري	المقطع العرضي	الجازر
$y^2 = \frac{6P}{bS_x} x$ $h = \sqrt{\frac{6Pl}{bS_x}}$ التغير عند النقطة A: $f = \frac{8P}{bE} \left(\frac{l}{h} \right)^3$	شكل تغير الارتفاع: 1. من الأعلى، خط مستقيم وفي الأسفل، قطع مكافئ 2. قطع مكافئ، نام شكل تغير العرض: مستطيل	مستطيل: العرض (h) ثابت التبدل (y) متحول	 
$y = \frac{6P}{h^2 S_x} x$ $b = \frac{6Pl}{h^2 S_x}$ التغير عند النقطة A: $f = \frac{6P}{bE} \left(\frac{l}{h} \right)^3$	شكل تغير الارتفاع: مستطيل شكل تغير العرض: مثلث	مستطيل: العرض (h) ثابت متحول وتبدل (b) ثابت (y)	

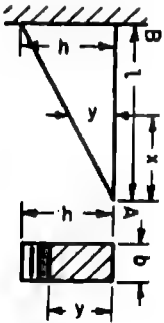
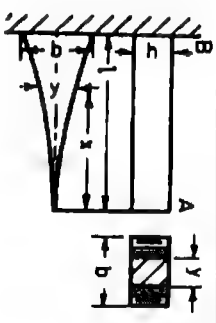
الشكل 2.17 الجبران ذات المقاومة الموحدة (وما يخص الاعطاف).

1. جاذب موزون من حرف وحيد بمحور مركزه من المعروف الآخر

الصيغة	شكلًا تغير الارتفاع والعرض من مسطور جانبي وعلوي	القطع العرضي	المাত্র
$y^3 = \frac{6P}{kS_s} x$ $z = ky$ $h = \sqrt[3]{\frac{6Pl}{kS_s}}$ $b = kh$	<p>شكل تغير الارتفاع:</p> <p>قطع مكافئ مكعي</p> <p>شكل تغير العرض:</p> <p>مقطع مكافئ مكعي</p>	<p>مستطيل:</p> <p>عرض (2) متحول وتبدل</p> <p>متحول (y) ونسبة</p> <p>ثابتة. $\frac{z}{y} = k$</p>	
$y^3 = \frac{32P}{\pi S_s} x$ $d = \sqrt[3]{\frac{32Pl}{\pi S_s}}$	<p>شكل تغير الارتفاع : قطع مكافئ مكعي</p> <p>شكل تغير العرض: قطع مكافئ مكعي</p>	<p>دائرة: بقطر (y) متحول</p>	

الشكل 2.17 / انماذج الجريان ذات المقارمة الموحدة (وما يخص الانعطاف).

1. جانتر موقوف من طرف ومحمل بمحمولة مركزة من الطرف الآخر

المكان	القطع العرضي	شكلان تغير الارتفاع والعرض من منظور جانبي وعرضي	الصيغ
	مستطيل: بعرض (b) ثابت وتبدلي (y) متحول	شكل تغير الارتفاع والعرض من منظور جانبي وعرضي شكل تغير العرض: مستطيل	$y = \kappa \sqrt{\frac{3P}{bS}}$ $h = \sqrt{\frac{3Pl}{bS_s}}$ $f = 6 \frac{P}{bE} \left(\frac{l}{h} \right)^3$
	مستطيل: بعرض (y) متحول وتبدلي (h) ثابت	شكل تغير الارتفاع والعرض: مستطيل شكل تغير العرض: منحنيات على شكل قطع مكافئ، بإختلاف بدورتين عند النهاية الطويلة .	$y = \frac{3Px^2}{1S_2h^2}$ $b = \frac{3Pl}{S_2h^2}$ النشوء عند النقطة A: $f = \frac{3P}{bE} \left(\frac{l}{h} \right)^3$

الشكل 2.17 الجيران ذات المقاومة الموحدة (كما يخص الانعطاف) /تابع/.

1. جانتر موزون من طرف وعمل عمولة مركزة من الطرف الآخر

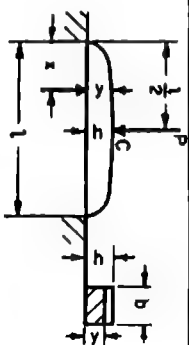
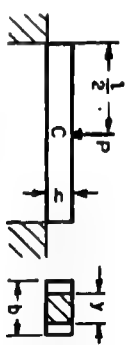
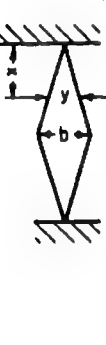
الصيغ	شكلان تغير الارتفاع والمرض من منظور جانتي وعطوي	المقطع العرضي	الجانتر
$y^3 = \frac{3Px^2}{ks_s^3}$ $z = ky$ $h = \sqrt[3]{\frac{3Pl}{ks_s}}$ $b = kh$	<p>شكل تغير الارتفاع: قطع مكافئ</p> <p>نصف مكعي</p> <p>شكل تغير المرض: قطع مكافئ</p> <p>نصف مكعي</p>	<p>مستطيل: بعرض (z) متحول وتبلي (y) متحول مع بنية</p> $\frac{z}{y} = k$	

2. جانتر موزون الهابطة وعمل عمولة P موزعة بانتظام على عازره 1.

الصيغ	شكلان تغير الارتفاع والمرض من منظور جانتي وعطوي	المقطع العرضي	الجانتر
$y^3 = \frac{16P}{\pi S_s^3} x^2$ $d = \sqrt[3]{\frac{16Pl}{\pi S_s}}$	<p>شكل تغير الارتفاع: قطع مكافئ</p> <p>نصف مكعي</p> <p>شكل تغير المرض: قطع مكافئ</p> <p>نصف مكعي</p>	<p>دائرة: بقطر (y) متحول</p>	

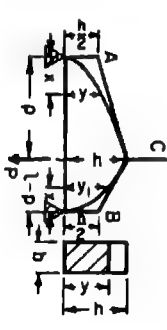
الشكل 2.17 ا/تابع/ الجيزان ذات المقاومة الموحدة (وما يخص الانعطاف).

3. جانز مسود من طرفه وحمل بعمولة مركزة عند النقطة C

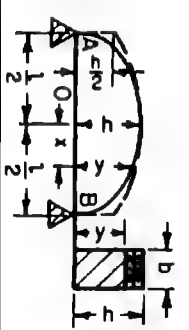
الصيغ	المقطع العرضي	الجانز
$y = \sqrt{\frac{3P}{S_s b}} x$ $h = \sqrt{\frac{3Pl}{2bS_s}}$ $f = \frac{P}{2Eb} \left(\frac{1}{h} \right)^3$	<p>- شكل تغير الارتفاع والعرض من مسطور جانبي وعطري</p> <p>شكل تغير الارتفاع: قطعتان مكافئتان تقع دروفهما عند تقاطع الاستناد.</p> <p>شكل تغير العرض: مستطيل</p>	 <p>مستطيل: بعرض (b) ثابت وتبدلي (y) متحول</p>
$y = \frac{3P}{S_s h^2} x$ $b = \frac{3Pl}{2S_s h^2}$ $f = \frac{3Pl^3}{8Eb h^2}$	<p>شكل تغير الارتفاع: مستطيل</p> <p>شكل تغير العرض: مثلثان، يقع رأسها عند تقاطع الاستناد</p> <p>مستطيل: بعرض (y) متحول وتبدلي (h) ثابت</p>	 

الشكل 2.17 / جانز/ الجيران ذات المقاومة الموحدة (بما يخص الانعطاف).

3. جدار مسود من طرفه وحمل بمحولة مركزية عند النقطة C

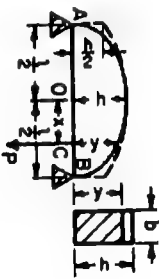
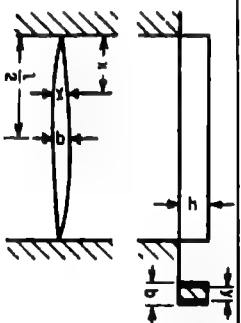
الصيغ	المقطع العرضي	الجدار
$y^2 = \frac{6P(1-p)}{bIS_s} x$ $y_1^2 = \frac{6Pp}{bIS_s} x_1$ $h = \sqrt{\frac{6P(1-p)p}{bIS_s}}$	<p>شكلاً تغير الارتفاع والعرض من منطوق جانبي وعلوي</p> <p>شكل تغير الارتفاع: قطعان مكافئان، تقع ذروهما عند تقاطع الاستناد. شكل تغير العرض: مستطيل</p> <p>مستطيل: بعرض (b) ثابت وتبدلي (لا أو y_1) متحول</p>	

3. جدار مسود من طرفه وحمل بمحولة P منحركة عبر جداره.

الصيغ	شكلاً تغير الارتفاع والعرض من منطوق جانبي وعلوي	المقطع العرضي	الجدار
$\frac{x^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{2bS_s} = 1$ $h = \sqrt{\frac{3Pl}{2bS_s}}$	<p>شكل تغير الارتفاع: قطع ناقص</p> <p>$= 1$ المحور الرئيسي</p> <p>$2h$ المحور الثانوي</p> <p>شكل تغير العرض: مستطيل</p>	<p>مستطيل: بعرض (b) ثابت وتبدلي (y) متحول</p> <p>وتبدلي (y) متحول</p>	

الشكل 2.17 أ/تابع/ الجدران ذات المقاومة الموحدة (وما يخص الانعطاف).

4. حائل مستند من طرفي وحمل بحمولة P موزعة بانتظام على مجازة L .

المخار	المقطع العرضي	شكل تغير الارتفاع والعرض من منظور جانبي وعطري	الصيغ
	<p>مستطيل: بعرض (b) ثابت وتبدلي (y) متحول</p>	<p>شكل تغير الارتفاع: قطع ناقص شكل تغير العرض: مستطيل</p>	$\frac{x^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\frac{3Pl}{4bs_s}} = 1$ $h = \sqrt{\frac{3Pl}{4bs_s}}$ <p>التشويه عند النقطة 0 :</p> $f = \frac{1}{64} \frac{Pl^3}{EI}$ $= \frac{3}{16} \frac{P}{bE} \left(\frac{l}{h}\right)^3$
	<p>مستطيل: بعرض (y) متحول وتبدلي (h) ثابت.</p>	<p>شكل تغير الارتفاع: مستطيل شكل تغير العرض: قطعتان مكافئتان تتبع ذروهما في وسط الخاز</p>	$y = \frac{3P}{8s_h h^2} \left(x - \frac{x^2}{1} \right)$ $b = \frac{3Pl}{4S_h h^2}$

الشكل 2.17 / تابع / الجبران ذات المقاومة الموحدة (وما يخص الانعطاف).

حمولات الأمان في جيزان ذات نماذج متنوعة.

Safe Loads For Beams Of Various Types

يعطي الجدول 2.2 صيغاً عددها 32، خاصة بحساب القيمة التقريبية لحمولات الأمان على جيزان فولاذية من مقاطع عرضية متنوعة وذلك من أجل إجهاد مسموح قيمته 16.000 lb/in^2 (110.3 MPa). قم باستخدام هذه الصيغ لتقدير بصورة سريعة حمولة الأمان لأي جائر فولاذي تستخدمه في تصميمك.

أما الجدول 2.3 فيعطي العوامل (الأمثال العددية) المتعلقة بتصحيح القيم في الجدول 2.2 وذلك من أجل طرق استناد وتحميل متنوعة. وفي حال تم دمج الجدول 2.3 مع الجدول 2.2 فسوف تزودنا بمجموعتا الصيغ بطرق مجدية وفعالة في إجراء الحسابات السريعة لحمولة الأمان وذلك في كل من المكتب والحقل.

الجدول 2.2 حمولات الأمان الثغرية المؤثرة على جبران فولاذية بالابوند (kgf). (الجبران مستمدة من الطرفين: إجهاد الألياف المسموح $\frac{1}{8}$ على التولاد 16,000 kgf/cm²) 11,127 رأسس الجلول) أما بما يخص الحديد، اختصر القيم المطانة بالجلول عن طريق ضربها بـ $\left(\frac{1}{8}\right)$

شكل المقطع	حمولات الأمان المعطى، lb		التشوه، in	
	الحمولة مركزة في الوسط	الحمولة موزعة	الحمولة مركزة في الوسط	الحمولة موزعة
مستطيل مملئ	$\frac{890AD}{L}$	$\frac{1,780AD}{L}$	$\frac{wL^3}{32AD^2}$	$\frac{wL^3}{52AD^2}$
مستطيل مجوف	$\frac{890(AD - ad)}{L}$	$\frac{1,780(AD - ad)}{L}$	$\frac{wL^3}{32(AD^2 - ad^2)}$	$\frac{wL^3}{52(AD^2 - ad^2)}$
اسطوانة مملئة	$\frac{667AD}{L}$	$\frac{1,333AD}{L}$	$\frac{wL^3}{24AD^2}$	$\frac{wL^3}{38AD^2}$
اسطوانة مجوفة	$\frac{667(AD - ad)}{L}$	$\frac{1,333(AD - ad)}{L}$	$\frac{wL^3}{24(AD^2 - ad^2)}$	$\frac{wL^3}{38(AD^2 - ad^2)}$
زاوية مدبلة بجناحين L أو مقطع	$\frac{885AD}{L}$	$\frac{1,770AD}{L}$	$\frac{wL^3}{32AD^2}$	$\frac{wL^3}{52AD^2}$
بشكل حرف T	$\frac{1,525AD}{L}$	$\frac{3,050AD}{L}$	$\frac{wL^3}{53AD^2}$	$\frac{wL^3}{85AD^2}$
مقطع قناة U أو Z - bar				

الجلود 2.2 /تابع/ حمولات الأمان التقريبية المؤثرة على جيزان فولاذية بالبارند (kgf). (الجيزان مسنودة من الطرفين: إجهاد الألياف المسموح على الفولاذ 16,000 kgf/cm² (1.127 kgf/cm²) وأقصى الجول) أما بما يخص الحديد، انحصر القيم المعطاة بالجدول عن طريق ضربها بـ $\frac{1}{8}$

التنوع in		حمولات الأمان المعطى Ib		شكل المقطع
الحمولة موزعة	الحمولة مركزة في الوسط	الحمولة موزعة	الحمولة مركزة في الوسط	
$\frac{wL^3}{80AD^2}$	$\frac{wL^3}{50AD^2}$	$\frac{2,760AD}{L}$	$\frac{1,380AD}{L}$	مقطع الجائر ذو المسطحة
$\frac{wL^3}{93AD^2}$	$\frac{wL^3}{58AD^2}$	$\frac{3,390AD}{L}$	$\frac{1,795AD}{L}$	مقطع الجائر ذو الشكل 1

L - المسافة بين المساند، ft. (m). A - مساحة مقطع الجائر، in² (cm²). D - تبلي الجائر، in. (cm).
 a - المساحة الداخلية، in² (cm²). d - التبلي الداخلي، in. (cm). w - حمولة التشغيل الإجمالية، باطن الأمر كي (kgf) net tons.

الجدول 2.3 الأمثال الخاصة بتصحيح القيم الواردة في الجدول 2.2 من أجل طرق تحميل واستناد مختلفة.

شروط التحميل	حمولة الأمان النسبية المطبق	التشوه النسبي الأعظمي تحت تأثير حمولة الأمان النسبية المطبق
جائز مستند من طرفيه	•	•
حمولة موزعة بانتظام على الجارز	1.0	1.0
حمولة مركزة في وسط الجارز	1/2	0.80
حمولتان مركزتان بصورة تناظرية ومتساو بيتان	1/4c	
حمولة تزايد بصورة منتظمة بدءاً من طرف نحو الطرف الآخر	0.974	0.976
حمولة تزايد بصورة منتظمة نحو وسط الجارز	3/4	0.96
حمولة تناقص بصورة منتظمة نحو وسط الجارز	3/2	1.08
جارز مؤنق من إحدى نهايتيه، ظهر		
حمولة موزعة بانتظام على الجارز	1/4	2.40
حمولة مركزة في النهاية الطويلة.	1/8	3.20
حمولة تزايد بانتظام نحو النهاية المؤنقة	3/8	1.92

الجدول 2.3 / إتابع / الأعمال الخاصة بتصحيح القيم الواردة في الجدول 2.2 من أجل طرق تحميل واستناد مختلفة.

جدول الأعمال الخاصة بتصحيح القيم الواردة في الجدول 2.2 من أجل طرق تحميل واستناد مختلفة.	شروط التحميل	التنويه النسبية العظمى	التنويه النسبية العظمى تحت تأثير حمولة الأمان النسبية العظمى
محاور مستند على مستلقي متساويين البعد عن طرفيه الطرفين	حمولة موزعة بانتظام على المحاور		
1. if distance $a > 0.2071 l$		$l^2/4a^2$	
2. if distance $a < 0.2071 l$		$l/(l - 4a)$	
3. if distance $a = 0.2071 l$		5.83	
محاور متساويين مركزان عند النهايتين		$l/4a$	

1 - طول المحاور . C = المسافة من المسد إلى أقرب حمولة مركزة مع . a = المسافة من المسد إلى نهاية المحاور

الحمولات الدوارة المتحركة Rolling And Moving Loads

الحمولات الدوارة والمتحركة هي الحمولات التي يمكنها أن تغير موقعها على جائر أو على عدة جيزان.



يوضح الشكل 2.18 جائراً محملاً بحمولتين متساويتين مركزيتين متحركتين، كالعجلتين المتحركتين على عارضة (جائر) الارتفاع - Crane أو كعجلات الشاحنة المتحركة فوق جسر، مثلاً.

بما أن عزم الانعطاف الأعظمي يحدث عندما تكون قوة القص مساوية للصفر، فيمكن لمخطط قوة القص إذن أن يبين الأماكن التي يحدث عندها العزم الأعظمي الناتج عن تأثير حمولة عجلة ما. وهكذا، بأخذ $x < a/2$:

$$R_1 = p \left(1 - \frac{2x}{l} + \frac{a}{l} \right)$$

$$M_2 = \frac{pl}{2} \left(1 - \frac{a}{l} + \frac{2x}{l} \frac{a}{l} - \frac{4x^2}{l^2} \right)$$

$$R_2 = p \left(1 + \frac{2x}{l} - \frac{a}{l} \right)$$

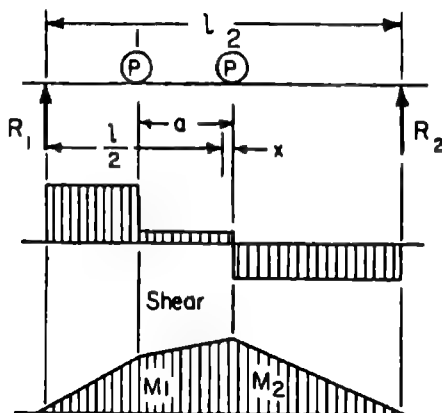
$$M_1 = \frac{pl}{2} \left(1 - \frac{a}{l} - \frac{2a^2}{l^2} + \frac{2x}{l} \frac{3a}{l} - \frac{4x^2}{l^2} \right)$$

$$a \frac{1}{4} = x \leftarrow M_2 = M_{\max}$$

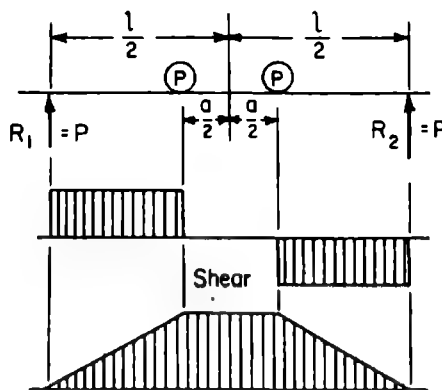
$$a \frac{3}{4} = x \leftarrow M_1 = M_{\max}$$

$$M_{\max} = \frac{Pl}{2} \left(1 - \frac{a}{2l} \right)^2 = \frac{Pl}{2l} \left(1 - \frac{a}{2} \right)^2$$

يوضح الشكل 2.19 الحالة التي تكون فيها الحمولتان المتساويتان متساويتين المسافة من طرفي وسط الجائر. بالتالي يكون العزم متساوياً تحت تأثير هاتين الحمولتين.



الشكل 2.18 حملتان متساويتان مركزتان متحركتان



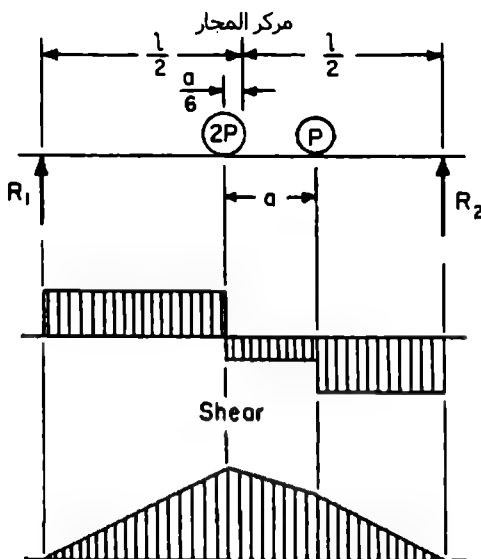
الشكل 2.19 حملتان متساويتان متحركتان متساويتا البعد عن طرفي وسط الجائز.

في حال لم تكن الحملتان متساويتا الوزن، فإن حالة حدوث العزم الأعظمي هي حالة العزم الأعظمي الذي يحدث نتيجة لتأثير العجلة الأثقل عندما يكون مركز

الجائز في حالة تنصيف للمسافة بين محصلة الحملتين والعجلة الأثقل. يبين الشكل 2.20 هذه الوضعية وكلاً من مخططي القص وعزم الانعطاف.

عندما تكون هناك عدة حمولات تؤلف نظام تحميل على جائز أو جيزان، فلا بد من اختيار العجلات كل واحدة بمفردها، وذلك لتعيين أي واحدة منها ستسبب العزم الأعظمي. ويكون الوضع المرتبط بحدوث العزم الأعظمي نتيجة لتأثير حمولة عجلة ما، كما حدد سابقاً، هو الوضع الذي يكون فيه مركز المجاز منتصفاً للمسافة بين العجلة المختبرة ومحصلة كل الحمولات المتبقية على المجاز.

أما الوضع المتعلق بالقص الأعظمي عند المسند فهو الوضع الذي تمّ فيه إحدى الحمولات بمغادرة المجاز.



الشكل 2.20 حمولتان متحركتان من وزنين مختلفين.

Curved Beams

الجيزان المنحنية

إن تطبيق الصيغ المرونية، الخاصة بالجيزان المستقيمة على الجيزان المنحنية ستسفر عن نتائج خاطئة. فعندما تمتلك جميع "ألياف" العنصر الإنشائي نفس مركز الانحناء، سوف يوجد للجائز المنحني مركز مشترك (الشكل 2.21). وقد تم تعريف مثل هذه الجيزان بنظرية Winkler-Bach. وتكون قيمة الإجهاد في نقطة تبعد y واحدة بدءاً من المحور المركزي هي:

$$S = \frac{M}{AR} \left[1 + \frac{y}{Z(R+y)} \right]$$

M هو عزم الانعطاف. موجب عندما يعمل على زيادة الانحناء.

y موجبة عندما تقاس باتجاه الطرف المحدّب.

A هي مساحة المقطع العرضي. R هو نصف قطر المحور المركزي.

Z هي خاصية المقطع العرضي وتُعرف بـ :

$$Z = -\frac{1}{A} \int \frac{y}{R+y} dA$$

وقد أعطيت التعابير التحليلية لـ Z من أجل مقاطع معينة في الجدول 2.4.

كما ويمكن إيجاد قيمة Z من طرق تكامل المنحني البياني (راجع أي كتاب متقدم في مقاومة المواد).

ينزاح السطح المحايد نحو مركز الانحناء أو نحو الألياف الداخلية بمقدار يساوي إلى $e = Z R (Z + 1)$.

المعادلات التحليلية لـ Z

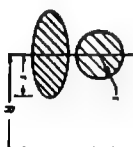
المعادلات التحليلية

نوع القطع

$$Z = -1 + \frac{R}{h} \ln \left(\frac{R+C}{R-C} \right)$$



$$Z = -1 + 2 \left(\frac{R}{r} \right) \left[\frac{R}{r} - \sqrt{\left(\frac{R}{r} \right)^2 - 1} \right]$$

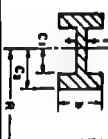


$$Z = -1 + \frac{R}{A} \left[t \ln(R+C_1) + (b-t) \ln(R-C_0) - b \ln(R-C_2) \right]$$

and $A = tC_1 - (b-t)C_3 + bC_2$

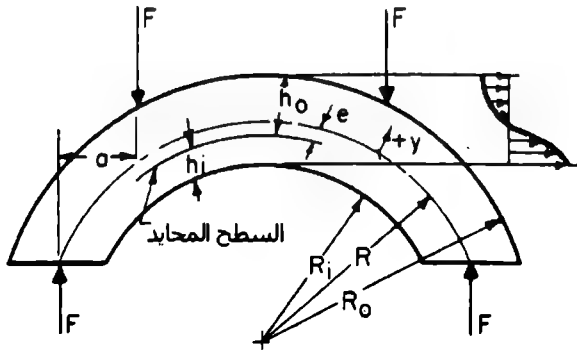


$$Z = -1 + \frac{R}{A} \left[b \ln \left(\frac{R+C_2}{R-C_2} \right) + (t-b) \ln \left(\frac{R+C_1}{R-C_1} \right) \right]$$



$$A = 2t(t-b)C_1 + bC_2$$

تعمل نظرية Winkler-Bach، على الرغم من تحققها عملياً، الإجهادات القطرية كما تعمل أيضاً التحولات الطرفية وتفترض إنعطافاً بحتاً. ويكون الإجهاد الأعظمي الذي يحدث في الليف الداخلي $S = Mh_i / AeR_i$ ، بينما يكون الإجهاد في الليف الخارجي $S = Mh_o / AeR_o$



الشكل 2.21 جائز منحنى

يمكن حساب التشوه في الجيزان المنحنية عن طريق نظرية عزم المساحة.

وسيكون التشوه الناتج مساوياً إلى $\Delta_0 = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$ وفق الاتجاه المحدد $\tan \theta = \Delta_y / \Delta_x$ وكما ويمكن إيجاد التشوهات بطريقة أسهل عن طريق نظرية كاستيليانو — Castigliano's theorem. فهذه النظرية تحدد أنه في منظومة مرنة تكون الإزاحة وفق اتجاه القوة (أو المزدوجة) والناتجة عن تطبيق تلك القوة (أو المزدوجة) هي المشتق الجزئي لطاقة الانفعال بالنسبة للقوة (أو المزدوجة).

فلو أخذنا جائزاً منحنياً على شكل ربع دائرة بنصف قطر R موثقاً من إحدى نهايتيه كما هو موضح في الشكل 2.22. وطبقنا قوة F في النهاية الطليقة B وفق الاتجاه القطري، فسوف يكون التشوه في النقطة B:

(I) عن طريق عزم المساحة

$$y = R \sin \theta \quad x = R (1 - \cos \theta)$$

$$ds = R d\theta \quad M = FR \sin \theta$$

$${}_B \Delta_x = \frac{\pi FR^3}{4EI} \quad {}_B \Delta_y = \frac{FR^3}{2EI}$$

وتكون Δ_B

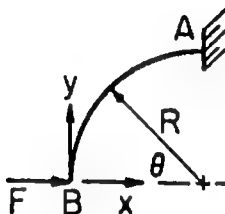
$$\Delta_B = \frac{FR^3}{2EI} \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4}}$$

وعند،

$$\begin{aligned} \theta_x &= \tan^{-1} \left(-\frac{FR^3}{2EI} \times \frac{4EI}{\pi FR^3} \right) \\ &= \tan^{-1} \frac{2}{\pi} \\ &= 32.5^\circ \end{aligned}$$

(II) عن طريق نظرية كاستيليانو - Castigliano's theorem

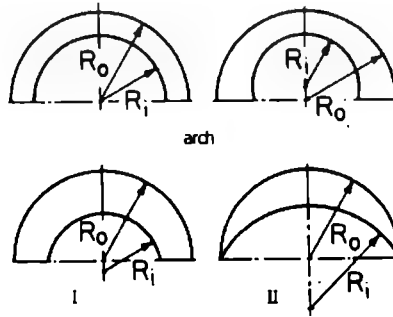
$${}_B \Delta_x = \frac{\pi FR^3}{4EI} \quad {}_B \Delta_y = -\frac{FR^3}{2EI}$$



الشكل 2.22 جوائز على شكل ربع دائرة موثوق من إحدى نهايتيه.

الجيزان المنحنية على نحو لا تركزى Eccentrically Curved Beams

يحاط هذا النوع من الجيزان (الشكل 2.23) بقوسين لهما مركزا انحناء مختلفان. كما ويمكن أن يكون لأحد القطرين طول مختلف عن القطر الآخر. الجائز الذي يختصر فيه تدلي (عمق) المقطع بتقريبه إلى المقطع الوسطي يمكن تسميته بالجائز القوسي . arch beam



الشكل 2.23 الجيزان المنحنية اللا تركزية.

وعندما يتحوّل المقطع الوسطي ليصبح أعظمية، يكون الجائز من النوع الهلالي.

يرمز الهلال I إلى جائز ذي نصف قطر خارجي أكبر من الداخلي ويرمز الهلال II إلى جائز ذي نصف قطر داخلي أكبر من الخارجي. يمكن إيجاد الإجهاد في المقطع الوسطي لمثل هذا النوع من الجيزان من؛ $S = KMC/I$.

وفي حال كان المقطع العرضي مستطيلاً، تصبح المعادلة؛ $S = 6 KM/bh^2$ ، حيث M هو عزم الانعطاف، b عرض مقطع الجائز، h ارتفاع المقطع.

عوامل الإجهاد، K خاصة بالحد الداخلي من المقطع، التي تمّ تثبيتها من قبل بيانات الخصائص المرونية المعتمدة على عملية التصوير أعطيت في الجدول 2.5.

الجدول 2.5 عوامل الإجهاد الخاصة بالحد الداخلي في المقطع الوسطي. (انظر الشكل 2.23)

1. للجزان من النوع القوسي

$$(a) K = 0.834 + 1.504 \frac{h}{R_o + R_i} \text{ if } \frac{R_o + R_i}{h} < 5$$

$$(b) K = 0.899 + 1.181 \frac{h}{R_o + R_i} \text{ if } 5 < \frac{R_o + R_i}{h} < 10$$

(c) في حالة نسبة المقطع أكبر، استخدم حل الجائز المكافئ

2. للجزان من النموذج الهلالي I

$$(a) K = 0.570 + 1.536 \frac{h}{R_o + R_i} \text{ if } \frac{R_o + R_i}{h} < 2$$

$$(b) K = 0.959 + 0.769 \frac{h}{R_o + R_i} \text{ if } 2 < \frac{R_o + R_i}{h} < 20$$

$$(c) K = 1.092 \left(\frac{h}{R_o + R_i} \right)^{0.0298} \text{ if } \frac{R_o + R_i}{h} > 20$$

3. للجزان من النموذج الهلالي II

$$(a) K = 0.897 + 1.098 \frac{h}{R_o + R_i} \text{ if } \frac{R_o + R_i}{h} < 8$$

$$(b) K = 1.119 \left(\frac{h}{R_o + R_i} \right)^{0.0378} \text{ if } 8 < \frac{R_o + R_i}{h} < 20$$

$$(c) K = 1.081 \left(\frac{h}{R_o + R_i} \right)^{0.0270} \text{ if } \frac{R_o + R_i}{h} > 20$$

يُرمز لنصف القطر الخارجي بـ R_o وللداخلي بـ R_i . يُرتَّب الشكل الهندسي للجزان الهلالية بحيث يمكن للإجهاد أن يكون أكبر بالابتعاد عن المقاطع الوسطية.

الإجهاد الذي تمّ تعيينه في المقطع الوسطي سابقاً لا بد أن يُضرب بعد ذلك بعامل الموضع k ، المعطى في الجدول 2.6.

كما هو الحال في الجيزان المتمركزة، ينزاح السطح المحايد بمقدار ضئيل نحو الحد الداخلي. (انظر المرجع Vidossic, "Curved Beams with Eccentric Boundaries, Transactions of the ASME, 79, pp. 1317-1321).

الجدول 2.6 عوامل إجهاد الموضع في الجيزان الهلالية. (انظر الشكل 2.23*)

k		الزاوية θ بالدرجات
خارجي	داخلي	
$1 + 0.03 H/h$	$1 = 0.055 H/h$	10
$1 + 0.10 H/h$	$1 + 0.164 H/h$	20
$1 + 0.25 H/h$	$1 + 0.365 H/h$	30
$1 + 0.467 H/h$	$1 + 0.567 H/h$	40
$1 + 0.733 H/h$	$1.521 - \frac{(0.5171 - 1.382H/h)^{1/2}}{1.382}$	50
$1 + 1.123 H/h$	$1.756 - \frac{(0.2416 - 0.6506H/h)^{1/2}}{0.6506}$	60
$1 + 1.70 H/h$	$2.070 - \frac{(0.4817 - 1.298H/h)^{1/2}}{0.6492}$	70
$1 + 2.383 H/h$	$2.531 - \frac{(0.2939 - 0.7084H/h)^{1/2}}{0.3542}$	80
$1 + 3.933 H/h$		90

ملاحظة: جميع الصيغ محققة من أجل $0 < H/h \leq 0.325$.

الصيغ الخاصة بالحد الداخلي، ما عدا الحالة التي توافقت الزاوية و 04 درجة، يمكن استخدامها من أجل $H/h \leq 0.36$.

حيث H = المسافة بين المركزين

الانعطاف (التحنيب) المرن الجانبي للجيزان

Elastic Lateral Buckling Of Beams

عندما يحدث التحنيب الجانبي في جائر، يكتسب تركيباً مؤلفاً من فتل وانعطاف خارج مستوي تأثير القوى (الشكل 2.24). فمن أجل جائر مستند استناداً بسيطاً وله مقطع عرضي مستطيل خاضع لانعطاف منتظم، يحدث التحنيب عند عزم الانعطاف الخارج ويعطى بـ :

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ}$$

حيث L = الطول اللامقوى للعنصر.

E = معامل المرونة.

I_y = عزم العطالة حول المحور الثانوي.

G = معامل مرونة القص.

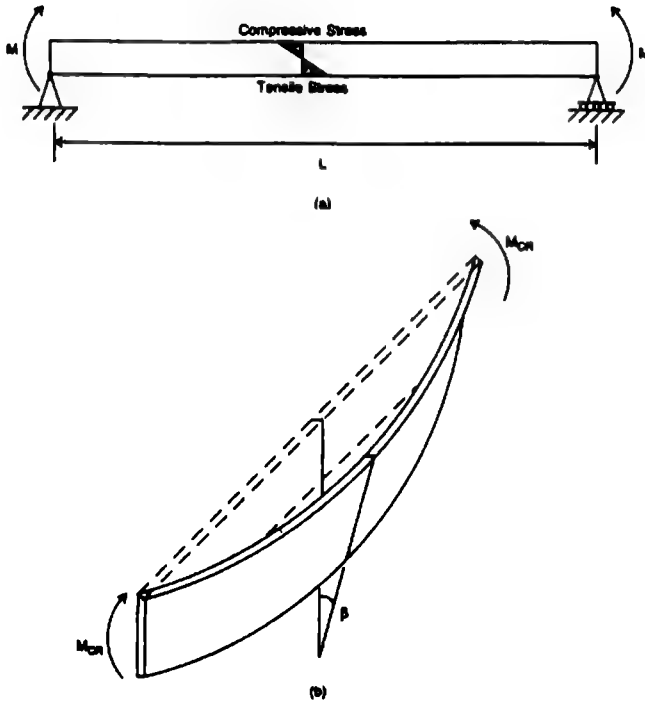
J = ثابت الفتل.

إن العزم الخارج يتناسب مع كل من قساوة (صلابة) الانعطاف الجانبية EI_y/L وقساوة الفتل للعنصر GJ/L .

من أجل حالة المقطع المفتوح مثل الجيزان ذات المقطع I أو ذات الجناح العريض، يمكن لصلابة مقاومة الفتل للمقطع أن تعطي قساوة فتلية إضافية. تحنيب جائر مستند استناداً بسيطاً له مقطع عرضي مفتوح يخضع لانعطاف منتظم يحدث عند عزم الانعطاف الخارج، ويعطى بـ

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y \left(GJ + EC_w \frac{\pi^2}{L^2} \right)}$$

حيث C_w ثابت الفتل وهو تابع لشكل المقطع العرضي ولأبعاده (شكل 2.25).



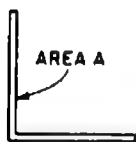
الشكل 2.24 (a) جائر بسيط خاضع لعزمين طرفيين متساويين (b) التحنيب الجانبي المرن للجائر

لقد تمّ فرض توزيع عزم الانعطاف، في المعادلتين السابقتين، منتظماً. أما من أجل الحالة التي يكون فيها تدرج عزم الانعطاف غير منتظم، فغالباً ما يحدث التحنيب عند العزم الحرج الأعظم. والعزم التقريبي لعزم الانعطاف الحرج هذا M'_{cr} يمكن أن يتم الحصول عليه بجاءء M_{cr} المعطى، في المعادلات السابقة، بعامل التكبير؛

$$M'_{cr} = C_b M_{cr}$$

حيث:

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$



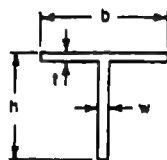
$$C_x = \frac{A^3}{144}$$

(a) EQUAL-LEG ANGLE



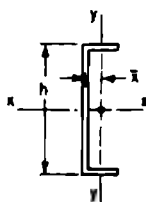
$$C_x = \frac{t^3}{36} (b_1^3 + b_2^3)$$

(b) UNEQUAL-LEG ANGLE



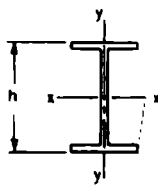
$$C_x = \frac{b^3 t^3}{144} + \frac{h^3 w^3}{36}$$

(c) T SECTION



$$C_x = \frac{h^2}{4} \left[I_y + a^2 A \left(1 - \frac{h^2 A}{4 I_x} \right) \right]$$

(d) CHANNEL



$$C_x = \frac{h^2}{4} I_y$$

(e) SYMMETRICAL I

الشكل 2.25 ثوابت الفتل - الانعطاف من أجل التحنيب الفتلي.
 A = مساحة المقطع العرضي. I_x = عزم العطالة حول المحور $x-x$.
 I_y = عزم العطالة حول المحور $y-y$.

و

M_{\max} = القيمة المطلقة للعزم الأعظمي في قطعة الجائز غير المقواة.

M_A = القيمة المطلقة للعزم عند نقطة الربع الأول لقطعة الجائز غير المقواة.

M_B = القيمة المطلقة للعزم عند النقطة الوسطى لقطعة الجائز غير المقواة.

M_C = القيمة المطلقة للعزم عند نقطة الربع الثالث من قطعة الجائز غير المقواة.

C_b تساوي إلى 1.0 من أجل الجيزان الظرفية غير المقواة ومن أجل العناصر الإنشائية حيث يكون العزم ضمن الجزء الالاف للانباه من القطعة غير المقواة أكبر من أو يساوي إلى أكبر عزوم الوثق للقطعة.

الحمولات المحورية المركبة وحمولات الانعطاف

Combined Axial And Bending Loads

تُعطى الإجهادات، المتولدة في الجيزان القصيرة الخاضعة لحمولات محورية وعرضية، بالاعتماد على مبدأ تنضد الآثار وذلك إذا أمكن حذف التشوّه الناشئ عن الانعطاف دون خطأ يذكر. بمعنى أن الإجمالي يعطى بدقة كافية في أي مقطع بجمع الإجهاد المحوري والإجهادات الناشئة عن الانعطاف.

الإجهاد الأعظمي $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$ يساوي إلى:

$$f = \frac{P}{A} + \frac{MC}{I}$$

حيث:

P = الحمولة المحورية، $(\text{N}) \text{ lb}$.

A = مساحة المقطع العرضي، $(\text{mm}^2) \text{ in}^2$.

M = عزم الانعطاف الأعظمي، $(\text{Nm}) \text{ in lb}$.

C = المسافة من المحور المحايد إلى أبعد ليف في المقطع الذي يحدث فيه العزم الأعظمي، $(\text{mm}) \text{ in}$.

I = عزم العطالة حول المحور المحايد في المقطع المذكور سابقاً، $(\text{mm}^4) \text{ in}^4$.

في حال كان التشوه الناشئ عن الانعطاف كبيراً ولم يكن بالإمكان تجنب إجهادات الانعطاف الناتجة عن الحمولات المحورية، فيعطى الإجهاد الأعظمي في هذه الحالة بالعلاقة:

$$f = \frac{P}{A} + (M + Pd) \frac{C}{I}$$

حيث: d تشوه الجائز. وبما يخص الضغط المحوري لا بد أن يُعطى العزم Pd نفس إشارة M . أما بما يخص الشد فيعطى العزم Pd إشارة معاكسة، وتكون القيمة الصغرى (الدنيا) لـ $M + Pd$ مساوية للصفر.

التشوه d العائد إلى الضغط المحوري والانعطاف يمكن أن يقرب إلى حدٍ دقيق بالعلاقة

$$d = \frac{d_0}{1 - (P/P_c)}$$

حيث: d_0 = التشوه العائد إلى التحميل العرضي فقط، (mm) in.

P_c = حمولة التحنيب الحرجة $\pi^2 EI/L^2$ ، (N) lb.

الانعطاف اللاتناظري (مركب) Unsymmetrical Bending

عندما يكون الجائز خاضعاً لحوملات لا تقع في المستوى الذي يحوي المحور الأساسي لكل من المقطعين العرضيين، يحدث ما يسمى بالانعطاف اللاتناظري. يفرض أن محور انعطاف الجائز يقع في مستوي الحمولات، لمنع حدوث القتل، وأن الحمولات عمودية على محور الانعطاف لمنع حدوث مركبات محورية، يكون الإجهاد (Mpa) lb/in² في أي نقطة من المقطع العرضي معطى بالعلاقة:

$$f = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y}$$

حيث :

$$M_x = \text{عزم الإنعطاف حول المحور الأساسي XX، (Nm) in lb.}$$

$$M_y = \text{عزم الإنعطاف حول المحور الأساسي YY، (Nm) in lb.}$$

$$x = \text{المسافة من نقطة حساب الإجهاد إلى المحور YY، (mm) in.}$$

$$y = \text{المسافة من النقطة إلى المحور XX، (mm) in.}$$

$$I_x = \text{عزم عطالة المقطع العرضي حول المحور XX، (mm}^4\text{) in}^4.$$

$$I_y = \text{عزم العطالة حول المحور YY، (mm}^4\text{) in}^4.$$

إذا كان مستوي الحملات يصنع زاوية θ مع المستوي الأساسي، فسوف يشكل السطح المحايد زاوية α مع المستوي الأساسي الآخر وبحيث يكون :

$$\tan \alpha = \frac{I_x}{I_y} \tan \theta$$

Eccentric Loading

التحميل اللاتركزي

إذا ما طُبِّقَت حمولة لا تتركزية بالاتجاه الطولي على قضيب في مستوي التناظر، فسوف تؤدي إلى نشوء عزم انعطاف مقداره P_e ، حيث e هي بعد الحمولة P عن المحور المركزي مقدرة بـ (mm) in. ويكون إجهاد الواحدة الإجمالي هو مجموع هذا العزم والإجهاد الناشئ عن P وكأنها مطبقة كحمولة محورية:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{P_e c}{A} = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{e c}{r^2} \right)$$

$$\text{حيث : } A = \text{مساحة المقطع العرضي، (mm}^2\text{) in}^2.$$

$$C = \text{المسافة من المحور المحايد إلى أبعد ليف، (mm) in.}$$

$I =$ عزم عطالة المقطع العرضي حول المحور المحايد، in^4 (mm⁴).

$r =$ نصف قطر الدوران أو العطالة $= \sqrt{\frac{A}{I}}$ ، in (mm).

يقدم الشكل 2.1 قيم نصف قطر الدوران لمقاطع عرضية مختلفة.

إن لم يكن هناك شدّ على المقطع العرضي تحت تأثير الحمولة الضاغطة، فيجب ألا تتجاوز e المقدار r^2/c . ومن أجل مقطع مستطيل بعرض b وتدلي d ، يتوجب على اللامركزية، بناءً على ما سبق، أن تكون أقل من $b/6$ و $d/6$ (يعني، يجب ألا يتم تطبيق الحمولة خارج الثلث الأوسط) ومن أجل مقطع دائري بقطر D ، يجب ألا تتجاوز اللامركزية المقدار $D/8$.

عندما تؤدي الحمولة اللامركزية المطبقة بالاتجاه الطولي إلى نشوء تشوّه كبير جداً وقد تمّ حذفه في حساب إجهاد الانعطاف، لا بد عندئذ من أخذ عزم الانعطاف الإضافي Pd بعين الاعتبار، حيث d التشوّه، in (mm). يمكن تقريب هذا التشوّه إلى حدّ دقيق بالعلاقة:

$$d = \frac{4eP/P_c}{\pi(1 - P/P_c)}$$

P_c هي حمولة التحنيب الحرجة $\pi^2 EI/L^2$ lb (N)

إن لم تكن الحمولة P واقعة في المستوي الذي يحوي محور التناظر، ستنشأ انعطافاً حول المحورين الأساسيين المارين من مركز ثقل المقطع. وتكون الإجهادات المقدرة بـ MPa (lb/in²) معطاة بالعلاقة:

$$f = \frac{P}{A} + \frac{P e_x C_x}{I_y} + \frac{P e_y C_y}{I_x}$$

حيث: $A =$ مساحة المقطع العرضي، in^2 (mm²)

$e_x =$ اللامركزية بالنسبة للمحور الأساسي YY، in (mm)

$e_y =$ اللامركزية بالنسبة للمحور الأساسي XX، in (mm)

$$C_x = \text{المسافة من المحور YY إلى أبعد ليف، in (mm)}$$

$$C_y = \text{المسافة من المحور XX إلى أبعد ليف، in (mm)}$$

$$I_x = \text{عزم العطالة حول المحور XX، in}^4 \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$I_y = \text{عزم العطالة حول المحور YY، in}^4 \text{ (mm}^4\text{)}$$

المحوران الأساسيان هما المحوران المتعامدان في مركز ثقل المقطع يكون من أجلهما عزم العطالة أعظمين أو أصغرين ويكون من أجلهما أيضاً جداء العطالة مساوياً للصفر.

التواترات الدورية الطبيعية وفترات الاهتزاز الدورية الطبيعية للجيزان الموشورية.

Natural Circular Frequencies And Natural Periods Of Vibration Of Prismatic Beams

يوضح الشكل 2.26 الهيئة المميزة ويعطي الثوابت الخاصة بتعيين التواتر الدوري الطبيعي ω والفترة الدورية الطبيعية T وذلك من أجل النماذج الأربعة الأولى، للظفر وللجائز البسيط وللجائز الموثوق من الطرفين والموثوق من طرف والمتمفصل من الطرف الآخر.

لكي تحصل على ω ، اختر الثابت المناسب من الشكل 2.26 ثم اضربه بالقيمة $\sqrt{EI / WL^4}$. ولكي تحصل على T ، قسّم الثابت المناسب على القيمة $\sqrt{EI / WL^4}$.

في هذه العلاقات؛

$$\omega = \text{التواتر الطبيعي rad/s}$$

$$W = \text{وزن الجائز، ليرة بالقدم الطولي — lb per linear ft (أو kg per linear m)}$$

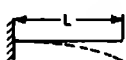
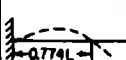
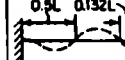
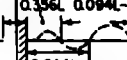
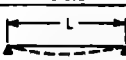
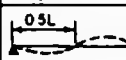

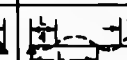
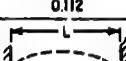
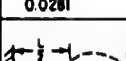
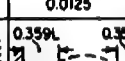
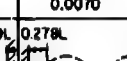
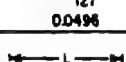
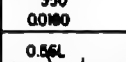
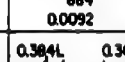
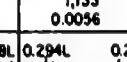
L = طول الجائز، (m) ft.

E = عامل المرونة، (MPa) lb/in².

I = عزم عطالة المقطع العرضي للجائز، (mm⁴) in⁴.

T = الفترة الدورية الطبيعية، s.

لتعيين الهياكل المميزة والفترات الدورية الطبيعية للجيزان ذات المقاطع العرضية المتغيرة وكذا الكتلة، استخدم طريقة Rayleigh. حوّل الجائز إلى نظام كتلي مُجمّع عن طريق تقسيم المجاز إلى عناصر ثم افرض أنّ كتلة كل عنصر مركزة في مركزه. أيضاً قم بحساب جميع الكميات، مثل التشوه وعزم الانعطاف في مركز كل عنصر. ابدأ هيئة مميزة افتراضية.

أنواع الاستناد	طريقة أولية	طريقة ثانية	طريقة ثالثة	طريقة رابعة
ظفر $\omega \sqrt{wL^3/EI}$ $T \sqrt{EI/wL^3}$	 20.0 0.315	 0.774L 125 0.0503	 0.5L 0.132L 350 0.0180	 0.356L 0.094L 684 0.0092
بسيط $\omega \sqrt{wL^3/EI}$ $T \sqrt{EI/wL^3}$	 56.0 0.112	 0.5L 224 0.0281	 502 0.0125	 897 0.0070
وثاقة $\omega \sqrt{wL^3/EI}$ $T \sqrt{EI/wL^3}$	 127 0.0496	 350 0.0180	 0.359L 0.359L 884 0.0092	 0.278L 1,133 0.0056
وثاقة - مفصل $\omega \sqrt{wL^3/EI}$ $T \sqrt{EI/wL^3}$	 87.2 0.0722	 0.56L 283 0.0222	 0.384L 0.308L 591 0.0106	 0.294L 0.235L 1,111 0.0062

الشكل 2.26 الأمثال العددية الخاصة بحساب التواترات الدورية الطبيعية وفترات الاهتزاز الطبيعية في الجيزان الموشورية.

3

صيغ الأعمدة

Column Formulas

General Considerations

اعتبارات عامة

الأعمدة هي عناصر إنشائية خاضعة إلى ضغط مباشر. ويمكن أن تُحمل جميع الأعمدة ضمن الصفوف الثلاث التالية:

1. الأعمدة الكتلية الخاضعة للضغط وتكون قصيرة جداً (بأمثال نحافة - يعني، الطول الا مسنود مقسوماً على نصف قطر الدوران الأقصر للعنصر - دون 30) وانعطافها يحدث بدون فاعلية تذكر.

2. الأعمدة النحيفة جداً والتي لها انعطاف مفترض تحت تأثير الحمولة، تسمى أعمدة طويلة وتكون مُعرّفة بنظرية إيلر - Euler's theory

3. الأعمدة المتوسطة الطول، غالباً ما تستخدم في التطبيقات الإنشائية، تدعى بالأعمدة القصيرة.

تفضل الأعمدة الطويلة والقصيرة عادةً بالتصدي للتحنيب وذلك عندما تصل حمولاتها إلى الحمولة الحرجة. يتم تحليل الأعمدة الطويلة باستخدام صيغة العمود لإيلر - Euler يعني باستخدام:

$$P_{cr} = \frac{n\pi^2 EI}{l^2} = \frac{n\pi^2 EA}{(l/r)^2}$$

يُبين المثل العددي n في هذه الصيغة شروط النهاية. فعندما يكون العمود مستنداً إلى مرتكزين محورين دورانيين في كلتا نهايتيه فإن $n = 1$. وعندما تكون إحدى نهايتيه موثوقة والأخرى دورانية فإن $n = 2$. وعندما تكون كلتا نهايتيه موثوقتين فإن $n = 4$. أما عندما تكون إحدى نهايتيه موثوقة والنهاية الأخرى طليقة، فإن $n = 0.25$.

* نذكر مرة ثانية أن نصف قطر الدوران هو تعبير مكافئ لتعبير نصف قطر العطالة.

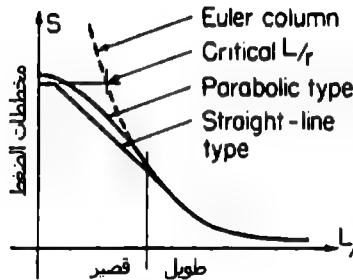
إن أمثال (مضاعفات) النحافة التي تفصل الجيزان الطويلة عن الجيزان القصيرة تعتمد على عامل المرونة ومقاومة الخضوع لمادة العمود. فعندما تؤدي صيغة إيلر إلى $S_y > (P_{cr}/A)$ ، ستتسبب مقاومة العمود (مقاومة غير كافية) بالانهيار عوضاً عن التحنيب وسيستوقف العمود عن التطاول أكثر من ذلك. في عملية التقدير السريعة للحسابات العددية، تقع أمثال النحافة الحرجة هذه، بين 120 و 150. والجدول 3.1 يعطي معلومات إضافية عن العمود معتمدة على صيغة إيلر - Euler's Formula.

Short Columns

الأعمدة القصيرة

يمكن اعتبار الإجهاد في الأعمدة القصيرة ناشئ جزئياً عن الضغط وجزئياً عن الانعطاف.

وبصورة تطبيقية، تعتمد العبارات المنطقية الخاصة بإجهادات العمود، عموماً، على فرضية أن الإجهاد المسموح يجب أن يخفّض دون تلك الإجهادات المسموحة الناشئة عن الضغط فقط. والطريقة التي يتم فيها هذا التخفيض أو الاختصار تعين نوع المعادلة وأمثال النحافة التي لن تطبق بعدها المعادلة. يوضح لنا الشكل 3.1 المنحنيات العائدة إلى هذه الحالة. والصيغ النموذجية للعمود قد أعطيت في الجدول 3.2.



الشكل 3.1 المنحني البياني لـ L/r الخاص بالأعمدة.

الجدول 3.1 مقاومة الأعمدة ذات النهايات المفصلة الدوارة تبعاً لصيغة إيلر*

نوع المادة**	حديد الزهر	حديد مطاوع	فولاذ بنسبة كربون متخفضة	فولاذ بنسبة كربون متوسطة
مقاومة الضغط الحدية (القصوى) lb/in^2 , lb/in^2	107,000	53,400	62,600	89,000
إجهاد الضغط المسموح (الأقصى) lb/in^2	7,100	15,400	17,000	20,000
عامل البرونة	14,200,000	28,400,000	30,600,000	31,300,000
عامل الأمان	8	5	5	5
أصغر 1 (عزم عطالة) مقبول في أحضر مقطع، in^4	pi^2	pi^2	pi^2	pi^2
حدود النسبة، r/d	17,500,000	56,000,000	60,300,000	61,700,000
مستطيل $\left(r = b\sqrt{\frac{1}{12}} \right)$ ، l/d	50.0	60.6	59.4	55.6
دائرة $\left(r = \frac{1}{4}d \right)$ ، l/d	14.4	17.5	17.2	16.0
حلقة دائرية ذات ثخانة صغيرة $\left(r = d\sqrt{\frac{1}{8}} \right)$ ، l/d	12.5	15.2	14.9	13.9
	17.6	21.4	21.1	19.7

* $P =$ القوة النبرية (المسوحة)، lb - 1 طول العمود، in - b البعد الأصغر في المقطع المستطيل، in - d قطر المقطع الدائري، in - نصف قطر الدوران الأصغري للمقطع.

** لكي تتحول إلى نظام الوحدات الدولية SI استخدم $\text{kpa} = 6.894 \times \text{lb/in}^2$ و $\text{mm}^4 = (25.4)^4 \times \text{in}^4$

الجدول 3.2 صيغ الأعمدة القصيرة النموذجية

الصيغة	نوع المادة	الكود	أمثال النحافة
$S_w = 17,000 - 0.485 \left(\frac{1}{r} \right)^2$	Carbon steels	AISC	$\frac{1}{r} < 120$
$S_w = 16,000 - 70 \left(\frac{1}{r} \right)$	Carbon steels	Chicago	$\frac{1}{r} < 120$
$S_w = 15,000 - 50 \left(\frac{1}{r} \right)$	Carbon steels	AREA	$\frac{1}{r} < 150$
$S_w = 19,000 - 100 \left(\frac{1}{r} \right)$	Carbon steels	Am.Br.Co	$60 < \frac{1}{r} < 120$
$* S_{cr} = 135,000 - \frac{15.9}{c} \left(\frac{1}{r} \right)^2$	Alloy-steel tubing	ANC	$\frac{1}{\sqrt{cr}} < 65$
$S_w = 9,000 - 40 \left(\frac{1}{r} \right)$	Cast iron	NYC	$\frac{1}{r} < 70$
$* S_{cr} = 34,500 - \frac{245}{\sqrt{c}} \left(\frac{1}{r} \right)$	2017ST aluminum	ANC	$\frac{1}{\sqrt{cr}} < 94$
$* S_{cr} = 5,000 - \frac{0.5}{c} \left(\frac{1}{r} \right)^2$	Spruce	ANC	$\frac{1}{\sqrt{cr}} < 72$
$* S_{cr} = S_y \left[1 - \frac{S_y}{4\pi^2 E} \left(\frac{1}{r} \right)^2 \right]$	Steels	Johnson	$\frac{1}{r} < \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$
$** S_{cr} = \frac{S_y}{1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{1}{r} \sqrt{\frac{P}{4AE}} \right)}$	Steels	Secant	$\frac{1}{r} < \text{critical}$

* S_{cr} = الإجهاد النظري الأعظمي. C = مُثل ثنائية (وثنوية) النهاية. $C = 2$ ، النهايتان مفصليتان. $C = 2.86$ ،

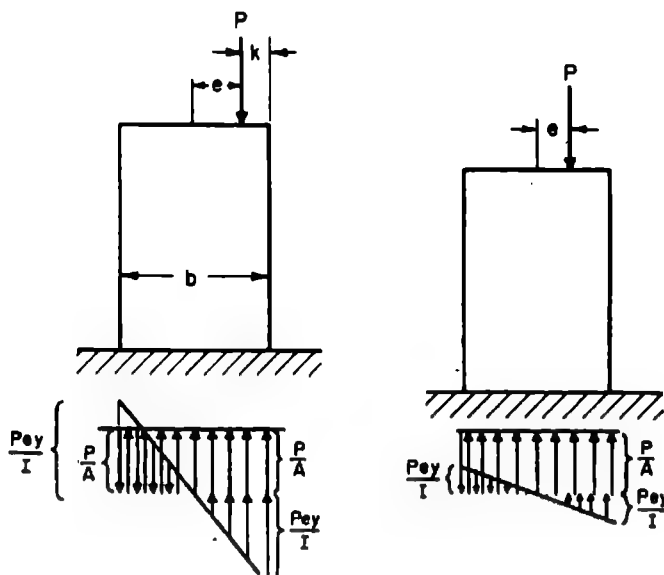
نهاية مفصليّة وأخرى موثوقة. $C = 4$ ، النهايتان موثوقتان. $C = 1$ ، نهاية موثوقة وأخرى حرة.

** e = اللامركزية الأولية التي تفصل بين نقطة تطبيق القوة ومركز ثقل المقطع العرضي للعمود.

الأعمدة الخاضعة لحمولات لا تمركزية

Eccentric Loads On Columns

عندما تتعرض الأعمدة القصيرة إلى حمولات مطبقة بصورة لا تمركزية سواء كانت ضاغطة أم شادة - أي غير مارة من مركز الثقل (cg)، ستتبع تركيبياً مولفاً من إجهادات محورية وإجهادات انعطافية. وتكون واحدة الإجهاد العظمى S_M هي المجموع الجبري لواحدتي هذين الإجهادين.



الشكل 3.2 مخطط الحمولة المؤثرة على الأعمدة

الحمولة P في الشكل 3.2 تفعل في خط التناظر على مسافة e من مركز الثقل C_g .

r = نصف قطر الدوران. واحدتا الإجهادات هما: (1) S_c ، ناتجة عن P ، وكأنها فاعلة في مركز الثقل C_g ، و(2) S_b ، ناتجة عن عزم الانعطاف لـ p التي تفعل بقدرة ذراعية e حول مركز الثقل $c.g$. وهكذا، فإن واحدة الإجهاد S عند أي نقطة y هي:

$$\begin{aligned} S &= S_c \pm S_b \\ &= (P/A) \pm p e y/I \\ &= S_c (1 \pm e y/r^2) \end{aligned}$$

y موجبة من أجل النقاط الواقعة في نفس الجانب الذي تقع فيه P بالنسبة إلى مركز الثقل C_g ، وسالبة في الجانب المقابل.

بما يخص المقطع العرضي المستطيل ذا العرض b ، يكون الإجهاد الأعظمي؛ $S_M = S_c (1 + 6e/b)$.

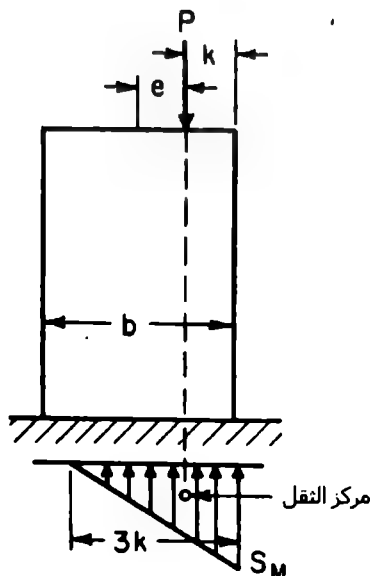
عندما تقع P خارج الثلث الأوسط من العرض b وتكون حمولة ضاغطة، عندئذ تحدث إجهادات شادة.

أما بما يخص المقطع الدائري بقطر d ، يكون الإجهاد الأعظمي؛ $S_M = S_c (1 + 8e/d)$. ويتطلب الإجهاد الناشئ عن وزن الجسم تعديلاً لهذه العلاقات.

لاحظ أن e في هذه الصيغ مقاسة بدءاً من المحور المار بمركز الثقل، وتعطينا إجهاداً شاداً عندما تكون e أكبر من سدس العرض (المقاس بنفس اتجاه e) بالنسبة للمقاطع المستطيلة وأكبر من ثمن القطر بالنسبة للمقاطع الدائرية المليئة.

إن لم تكن المادة قادرة على تحمل إجهادات شادة، كما هو الحال في أصناف معينة من المباني الحجرية، فلا بد من تجنب إمكانية حدوث قوة شادة، ويؤخذ مركز العزوم في هذه الحالة (شكل 3.3) في مركز الإجهاد. وبما يخص المقطع المستطيل تؤثر P على مسافة تبعد k عن الحافة الأقرب. ويكون الطول تحت تأثير الضغط $k = 3$ وتكون $S_M = 2/3 P/hk$. وبما يخص المقطع الدائري:

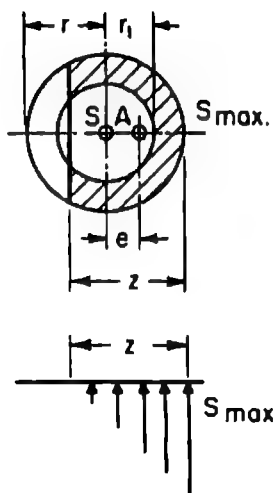
محيط الدائرة. $S_M = [0.372 + 0.056(k/r)] \frac{P}{k} \sqrt{rk}$ ، حيث r = نصف القطر و k = بعد P عن



الشكل 3.3 مخطط الحمولة للأعمدة.

وبالنسبة للحلقة الدائرية، S = إجهاد الضغط الوسطي على المقطع العرضي الناتج عن تأثير P . و e = لا تمركزية P . و z = طول القطر تحت تأثير الضغط (شكل 3.4).

قيم z/r وقيم النسبة S_{max} إلى S الوسطية، معطاة في الجدولين 3.3 و 3.4.



الشكل 3.4 مخطط تأثير حمولة عمود دائري.

لب أو نواة المقطع هي المساحة التي تحيطُ بمركز ثقل المقطع العرضي والتي تُنتج الحمولة المطبقة ضمنها إجهاداً ذا إشارة واحدة فقط على كامل مساحة المقطع العرضي.

أما الحمولة المطبقة خارج هذه النواة، فتنتج إجهادات من إشارات مختلفة.

يوضح الشكل 3.5 النويات (مظللة) لعدة مقاطع مختلفة.

بالنسبة للحلقة الدائرية يكون نصف قطر النواة: $r = D [1 + (d/D)^2]/8$.

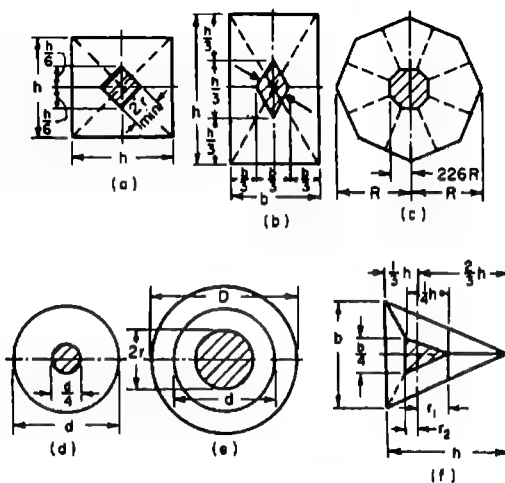
وبالنسبة للمربع المفرغ (H و h = طول الضلعين الخارجي والداخلي) ، النواة هي مربع مشابه للشكل 3.5a، حيث

$$r_{\min} = \frac{H}{6} \frac{1}{\sqrt{2}} \left[1 + \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right] = 0.1179H \left[1 + \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right]$$

[illegible]

الجدول 3.4 قيم النسبة S_{max}/S_{avg} (في عملية تعيين S الوسطية، استخدم الحمولة P مقسومة على المساحة الإجمالية للمقطع العرضي)

$\frac{e}{r}$	$\frac{r_1}{r}$							$\frac{e}{r}$
	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
0.05	1.20	1.16	1.15	1.13	1.12	1.11	1.10	0.05
0.10	1.40	1.32	1.29	1.27	1.24	1.22	1.20	0.10
0.15	1.60	1.48	1.44	1.40	1.37	1.33	1.30	0.15
0.20	1.80	1.64	1.59	1.54	1.49	1.44	1.40	0.20
0.25	2.00	1.80	1.73	1.67	1.61	1.55	1.50	0.25
0.30	2.23	1.96	1.88	1.81	1.73	1.66	1.60	0.30
0.35	2.48	2.12	2.04	1.94	1.85	1.77	1.70	0.35
0.40	2.76	2.29	2.20	2.07	1.98	1.88	1.80	0.40
0.45	3.11	2.51	2.39	2.23	2.10	1.99	1.90	0.45



الشكل 3.5 الصفات المميزة للعمود.

وبما يخص المثمن المفرغ، R_s و R_i = نصفا الدائرتين اللتين تحيطان بالأضلاع الخارجية والداخلية؛ ثخانة الجدار = $0.92399 (R_s - R_i)$ ؛ والنواة هي مثمن مشابه للشكل 3.5c، حيث $0.2256R$ تصبح $0.2256R_u [1 + (R_i/R_s)^2]$.

تصميم صفيحة قاعدة العمود (طبقة) قاعدة العمود

Column Base Plate Design

تستخدم عادة صفائح القاعدة لتوزيع حمولات العمود على مساحة كبيرة بشكل كاف من بيتون الإنشاء الداعم الذي لا تتجاوز مقاومة تحمل البيتون التصميمية مقاومته.

تُعتبر الحمولة المحللة P_u موزعة بانتظام تحت صفيحة القاعدة.

تعطى مقاومة تحمل البيتون الاسمية (الاعتبارية) f_p المقدرة بـ kip/in^2 أو ksi (MPa) بـ

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \quad \text{مع} \quad f_p = 0.85f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

حيث:

f'_c = مقاومة الضغط المميزة للبيتون، Ksi (MPa).

A_1 = مساحة صفيحة القاعدة، in^2 (mm^2).

A_2 = مساحة البيتون الداعم المشابهة هندسياً للمساحة المحملة والمتمركزة معها، in^2 (mm^2).

تساوي مقاومة تحمل البيتون f_p في معظم الحالات إلى $0.85 f'_c$ ، وذلك عندما يكون المرتكز البيتوني أكبر بقليل من صفحة القاعدة أو تساوي إلى $1.7 f'_c$ عندما يكون المرتكز قاعدة منبسطة أو تبدأ ذا رأس عريض أو أساس حصرية.

إذن. فالمساحة المطلوبة لصفحة القاعدة من أجل الحمولة المحملة هي:

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c 0.85f'_c}$$

حيث: ϕ_c هو عامل تخفيض المقاومة = 0.6.

بما يخص العمود المنتهي بجناح رأسي أو شفة بارزة (فلنجة - flange)، يجب على A_1 ألا تقل عن $b_f d$ ، حيث b_f عرض الجناح الرأسي مقدراً بـ (mm) d وعمق مقطع العمود مقدراً بـ (mm).

طول صفحة القاعدة المستطيلة N ، مقدراً بـ (mm)، العائد للعمود ذي الجناح، يمكن أن يؤخذ باتجاه d كما يلي:

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta > d \quad \text{or} \quad \Delta = 0.5(0.95d - 0.80b_f)$$

أما العرض B ، مقدراً بـ (mm)، الموازي للجناح (flanges)، سيكون:

$$B = \frac{A_1}{N}$$

لخانة صفحة القاعدة t_p ، مقدرة بـ (mm)، هي أكبر القيم المعطاة بالعلاقات التالية:

$$t_p = m \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_y B N}}$$

$$t_p = n \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_y B N}}$$

$$t_p = \lambda n' \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_y B N}}$$

حيث:

m = مقدار بروز صفيحة القاعدة إلى ما بعد بروز جناح العمود، مأخوذاً بالاتجاه الموازي للحسد الواصل بين بروزي جناح العمود، مقدر بـ (mm) in، ويساوي

$$m = (N - 0.95d)/2$$

n = مقدار بروز صفيحة القاعدة ما بعد حواف الجناح مأخوذاً بالاتجاه الموازي للحسد، مقدر بـ (mm) in،

$$n = (B - 0.80bf)/2$$

$$n = \sqrt{(db_f)} / 4$$

$$\lambda = (2\sqrt{x}) / [1 + \sqrt{(1-x)}] \leq 1.0$$

$$X = [(4db_f) / (d + b_f)^2] [P_u / (\phi \times 0.85f'_c A_f)]$$

طرق تصميم الإجهاد المسموح في فولاذ الإنشاء، العائدة للجمعية الوطنية الأمريكية

American Institute Of Steel Construction Allowable -
Stress Design Approach

تُدعم أو تُسند الأعمدة السفلية للمنشأة، عادةً على أساس بيتوني. ويتم إيجاد المساحة المطلوبة، مقدرة بالإنشآت المربعة (بالمليمترات المربعة)، من العلاقة:

$$A = \frac{P}{F_p}$$

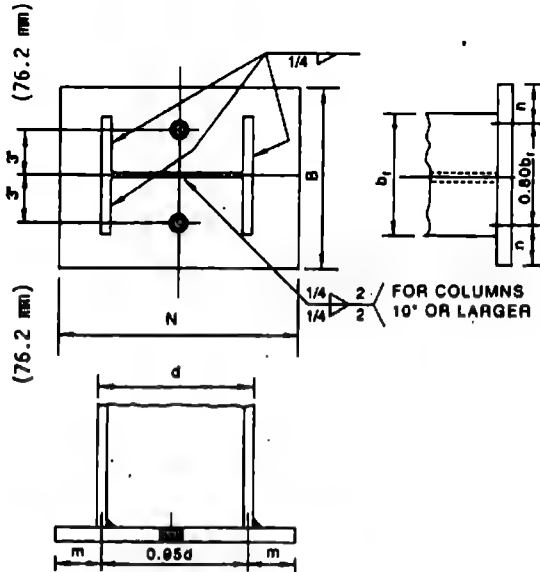
حيث: P الحمولة مقدرة بـ (N) Kip. و F_p ضغط التحميل المسموح على المسند، مقدر بـ (Mpa) Ksi.

يعتمد الضغط المسموح على مقاومة البيتون في الأساس وعلى الأبعاد (القياسات) النسبية لصفحة القاعدة وعلى مساحة المسند البيتوني. فإذا كانت صفيحة القاعدة تشغل مساحة المسند البيتوني بأكملها، فإن $F_p = 0.35 f'_c$

حيث: f'_c هي مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28. أما إذا كانت صفيحة القاعدة تغطي مساحة أقل من مساحة المسند البيتوني، فإن $F_p = 0.35f'_c \sqrt{A_2 / A_1} \leq 0.70f'_c$ ، حيث: A_1 هي مساحة القاعدة ($B \times N$)، و A_2 هي كامل مساحة المسند البيتوني.

عدم تركيزية التحميل أو وجود عزم انعطاف في قاعدة العمود يزيد الضغط على بعض أجزاء صفيحة القاعدة وينقصه على بعض الأجزاء الأخرى. ولحساب هذه الإجهادات، يمكن افتراض أن صفيحة القاعدة صلبة تماماً بحيث يكون تغير الضغط على البيتون خطياً.

يمكن تعيين ثخانة الصفيحة عن طريق معالجة البروزين m و n لصفيحة القاعدة، الممتدين إلى ما بعد العمود، كظفرين.



الشكل 3.6 عمود ملحوم بصفيحة القاعدة.

يتم تحديد أبعاد الظفرين m و n ، عادةً، كما هو موضَّح في الشكل 3.6. (وفي حال كانت صفيحة القاعدة صغيرة، فلا بد من معالجة مساحة صفيحة القاعدة الموجودة داخل بروفيل "مقطع" العمود كجائز).
يوضح تحليل منحنى الخضوع أن بعد الظفر المكافئ n' يمكن أن يُحدَّد بـ $n' = \frac{1}{4} \sqrt{db_f}$ ، وثخانة صفيحة القاعدة t_p المطلوبة يمكن أن تحسب من؛

$$t_p = 2l \sqrt{\frac{f_p}{f_y}}$$

حيث:

l = أكبر القيم (m ، n ، n')، مقدرة بـ (mm)

$$(Mpa) \text{ Ksi} : F_p \geq \frac{P}{B_N} = f_p$$

F_y = مقاومة الخضوع لصفيحة القاعدة، (Mpa) Ksi

P = حمولة العمود المحورية، (N) Kip

بالنسبة للأعمدة الخاضعة لحمولة مباشرة فقط، يُطلب من لحامات العمود مع صفيحة القاعدة، كما هو موضَّح بالشكل 3.6، أن تتحمل بصورة أساسية إجهادات التشييد. أما بالنسبة للأعمدة الخاضعة إلى حمولات تراكُم من جَراء الارتفاع في البناء، فيتوجب على اللحامات أن تكون متناسبة مع ذلك الارتفاع لكي تقاوم تأثير القوى.

Composite Columns

الأعمدة المختلطة

عامل تصميم المقاومة والحمولة المميزة (LRFD) العائد للجمعية الوطنية الأمريكية للمنشآت الفولاذية (AISC) والمتعلق بأبنية الفولاذ الإنشائي، يتضمن إضافات تصميمية خاصة بعناصر الضغط المغلفة أو المحاطة بالبيتون. فهو يُحدِّد المتطلبات

التالية لكي تُمنح تلك العناصر صفة العמוד المختلط: يجب أن تكون مساحة المقطع العرضي للقلب الفولاذي أو النواة الفولاذية — المحاط بأنبوب أو أنبوبي أو أشكال أخرى — على الأقل 4 بالمئة من المساحة الإجمالية المختلطة. ويجب أن يكون البيتون مسلحاً بقضبان طولانية تتصدى للحمولة، وتستمر بدون انقطاع عند موازين أخذ السوية الموطّرة، وبأربطة جانبية وقضبان طولانية أخرى لحسر البيتون في القلب؛ حيث يجب أن يكون لجميع هذه القضبان غطاء بيتوني نظيف بمقدار $1\frac{1}{2}$ إنش (38.1 mm) على أقل تقدير. مساحة مقطع التسليح الطولاني والعرضي يجب أن تكون على الأقل 0.007 in^2 (4.5 mm^2) بالإنش (بالمليمتر) من التباعد بين القضبان. التباعد بين الأربطة يجب ألا يتجاوز ثلثي البعد الأصغر من المقطع المختلط. مقاومة البيتون f_c يجب أن تقع بين 3 و 8 Ksi (بين 20.7 و 55.2 Mpa) من أجل بيتون ذي ثقل عادي ومقاومة 4 Ksi (27.6 Mpa) من أجل بيتون خفيف الوزن.

يجب ألا يتجاوز إجهاد الخضوع المُمَيَّز الأصغري F_y للقلب الفولاذي ولحديد التسليح المقدار 60 Ksi (414 Mpa). ثخانة جدار الأنبوب الفولاذي أو الأنبوب المملوء بمادة البيتون يجب أن تكون على الأقل $b\sqrt{F_y/3E}$ أو $D\sqrt{F_y/8E}$ ، حيث b هي عرض واجهة المقطع المستطيل، D هي القطر الخارجي للمقطع الدائري، E هي عامل مرونة الفولاذ.

يُعطى عامل تصميم المقاومة والحمولة (LRFD) العائد لـ (AISC)، مقاومة التصميم وفق الشكل ϕP_n ، من أجل عمود محمل محورياً، حيث: $\phi = 0.85$ و P_n معينة من:

$$\phi P_n = 0.85 A_x F_{cr}$$

من أجل $\lambda \leq 1.5$

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_{my}$$

ومن أجل $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_{my}$$

حيث: $\lambda_c = (KL/r_m \pi) \sqrt{F_{my} / E_m}$

KL = الطول الفعال للعمود، in (mm).

A_s = المساحة الخام للقلب الفولاذي بـ in^2 (mm²).

$$F_{my} = F_y + c_1 F_{yr} (A_f/A_s) + c_2 F_c (A_c/A_s)$$

$$E_m = E + c_3 E_c (A_c/A_s)$$

r_m = نصف قطر الدوران للقلب الفولاذي مقدراً بعدد من الإنشآت، يحقق $\text{in} \geq 0.3$ من الشخانة الكلية للمقطع العرضي المختلط في مستوى تحنيب الهياكل الفولاذية.

A_c = مساحة المقطع العرضي للبيتون، in^2 (mm²).

A_f = مساحة التسليح الطولي، in^2 (mm²).

E_c = عامل مرونة البيتون، Ksi (Mpa).

F_{yr} = إجهاد الخضوع المميز الأصغري للتسليح الطولي، Ksi (Mpa).

كما يخص الأنابيب الفولاذية المملوءة بالبيتون والقضبان الفولاذية المحاطة بالأنابيب، يكون لدينا: $c_1 = 1.0$ ، $c_2 = 0.85$ ، $c_3 = 0.4$. أما بالنسبة للهياكل الفولاذية المغلفة بالبيتون فإن، $c_1 = 0.7$ ، $c_2 = 0.6$ ، $c_3 = 0.2$.

عندما يتألف اللب الفولاذي من هيكلين فولاذيين أو أكثر، فلا بد لهذه الهياكل أن تكون مبربوطة منع بعضها بقضبان ربط أو بصفائح ربط أو بصفائح على شكل سبائك رابطة لمنع تحنيب الهياكل المستقلة قبل أن تصل مقاومة البيتون إلى f'_c 0.75.

إن جزءاً من المقاومة المطلوبة، الخاصة بالأعمدة المختلطة المغلفة والمحملة محورياً، التي يعبأ بها البتون، يجب أن تتم زيادتها عن طريق التحميل المباشر عند الأربطة أو الوصلات القصية التي يمكن أن تستخدم لنقل الحمولة المطبقة بصورة مباشرة على البتون إلى العمود الفولاذي. وتكون مقاومة التصميم للبتون هي $1.7 \phi_c f_c A_b$ من أجل التحميل المباشر، حيث $\phi_c = 0.65$ و A_b = المساحة المحملة، in^2 (mm²) كما وتطبق محظورات معينة أخرى.

التحنيب الانثنائي المرن للأعمدة

Elastic Flexural Buckling Of Columns

التحنيب المرن إن هو إلا حالة من حالات عدم الاستقرار الجانبي للعنصر، يحدث عندما تتعرض المادة إلى إجهاد يقترب من نقطة الخضوع. ويكتسب التحنيب أهمية خاصة في المنشآت ذات العناصر النحيفة. وتعطينا صيغة إيلر الخاصة بالأعمدة المنتهية بمسندين مسمارين أو مفصليين (الشكل 3.7) نتائجاً صحيحة بالنسبة لحمولة التحنيب الحرجة، مقدرة بـ (N) Kip. وهذه الصيغة، بأمثال نخافة مُمثلة بـ L/r ، هي:

$$P = \frac{\pi^2 EA}{(L/r)^2}$$

حيث:

E = عامل مرونة مادة العمود، (Mpa) Psi.

A = مساحة المقطع العرضي للعمود، in^2 (mm²).

r = نصف قطر الدوران للعمود، (mm) in.

يوضح الشكل 3.8 بعض الشروط المثالية للنهايات الخاصة بالأعمدة النحيفة والمقابلة لحمولات التحنيب الحرجة. ويمكن أن يتم الحصول على حمولات التحنيب الحرجة من أجل جميع الحالات عن طريق تعويض الطول الفعال KL بدلاً من الطول L للعمود المتمفصل، التي ستعطينا؛

$$P = \frac{\pi^2 EA}{(KL/r)^2}$$

في بعض الحالات المتعلقة بالأعمدة ذات المقاطع المفتوحة، مثل المقطع المتصالب، يمكن أن تكون طريقة إدارة التحنيب على أنها واحدة من طرق التحوّل الفتلي عوضاً عن التحوّل الجانبي. فإن لم يكن للصلاية الفتلية للمقطع أهمية تذكر، فإن التحنيب الفتلي في العمود المنتهي بمفصلين يحدث عند الحمولة المحورية:

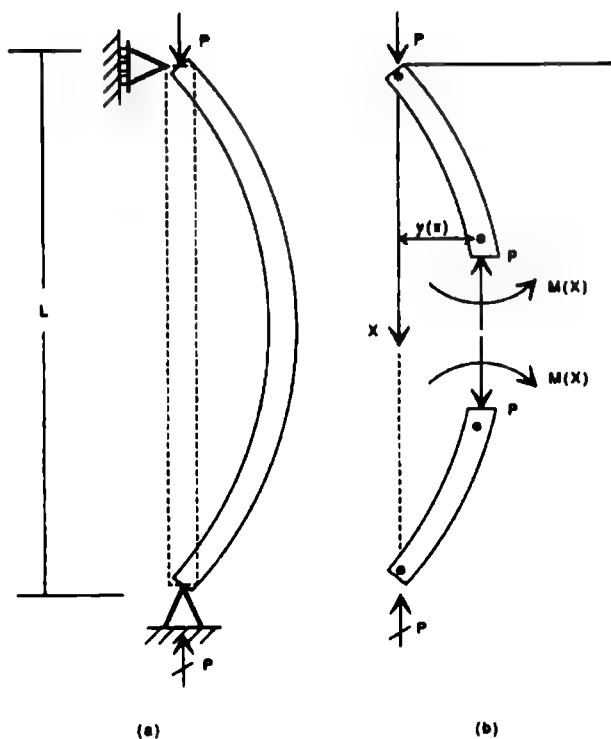
$$P = \frac{GJA}{I_P}$$

حيث: G = عامل مرونة القص





J = ثابت الفتل

A = مساحة المقطع العرضي

I_P = عزم العطالة القطبي = $I_x + I_y$



الشكل 3.7 (a) انحناء عمود متمفصل من النهايتين واقع تحت تأثير حمولة محورية. (b) تبقي القوى الداخلية العمود في حالة توازن.

نوع العمود	الطول الفعّال	حمولة التحنيب الحرجة
	L	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$
	$\frac{L}{2}$	$\frac{4\pi^2 EI}{L^2}$
	$= 0.7 L$	$\approx \frac{2\pi^2 EI}{L^2}$
	$2 L$	$\frac{\pi^2 EI}{4L^2}$

الشكل 3.8 صيغ تحنيب الأعمدة.

أما في حال كان لمقطع العمود صلابة فتلية ذات قيمة معتبرة، فسوف تزداد حمولة التحنيب المحورية إلى:

$$P = \frac{A}{I_p} \left(GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{L^2} \right)$$

حيث، C_w : ثابت الفتل تابع لشكل المقطع العرضي وأبعاده.

حمولات التصميم المقبولة (المسموحة) الخاصة بأعمدة الألومنيوم

Allowable Design Loads For Aluminum Columns

تُستخدم صيغة إيلر في أعمدة الألومنيوم الطويلة. أما في الأعمدة القصيرة فتستخدم إما معادلة جونسون القطعية - Johnson's Parabolic equation أو معادلة الخط

المستقيم، وذلك بالاعتماد على نوعية مادة العمود. وتلك المعادلات الخاصة بالألومنيوم تأتي من:

معادلة إيلر:

$$F_e = \frac{C\pi^2 E}{(L/\rho)^2}$$

معادلة جويلسون المعممة:

$$F_c = F_{ce} \left[1 - K \left(\frac{(L/\rho)}{\pi \sqrt{\frac{cE}{F_{ce}}}} \right)^n \right]$$

يتم اختيار قيمة n ، التي تُحدد إذا كانت صيغة العمود القصير هي معادلة الخط المستقيم. أم هي المعادلة القطعية، من الجدول 3.5. مدى أو مجال الانتقال من العمود الطويل إلى العمود القصير يُعطى وفق:

$$\left(\frac{L}{\rho} \right)_{cr} = \pi \sqrt{\frac{kcE}{F_{ce}}}$$

حيث:

F_e = إجهاد الضغط المسموح على العمود.

F_{ce} = إجهاد خضوع العمود ويُعطى كتابع لـ F_{cy} (إجهاد خضوع الضغط).

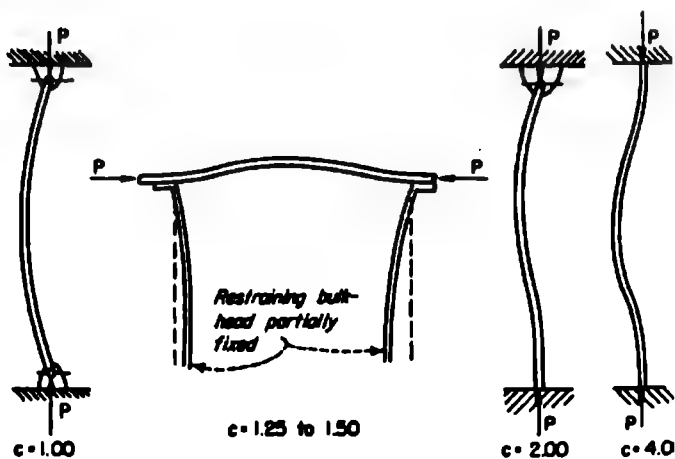
L = طول العمود.

ρ = نصف قطر دوران العمود.

E = عامل المرونة - الملاحظ على الرسم البياني.

c ثباتية أو وثوقية نهاية العمود، تؤخذ من الشكل 3.9.

n, K, k = ثوابت تؤخذ من الجدول 3.5.



الشكل 3.9 قيم c الخاصة بثباتية نهاية العمود، من أجل تحديد النسبة المرحلة L/p لشروط تحميل مختلفة.

الجدول 3.5 ثوابت المادة الخاصة ببيانات أعمدة الألومنيوم.

نوع المادة	المدخل الوسطي F_c				نوع المادة
	MPa	psi	MPa	psi	
نوع معادلة هورنسون	K	n	k	n	
Straight line	0.385	1.0	3.00	1.0	14S-T4
Straight line	0.385	1.0	3.00	1.0	24S-T3 and T4
Straight line	0.385	1.0	3.00	1.0	61S-T6
Squared parabolic	0.250	2.0	2.00	2.0	14S-T6
Squared parabolic	0.250	2.0	2.00	2.0	75S-T6

المرجع: 5- ANC

تصميم الأعمدة البيتونية بالمقاومة الحديدية (القصى)

Ultimate Strength Design Concrete Columns

عند الوصول إلى المقاومة الحديدية P_u ، $(N) \text{ Kip}$ ، يفترض بالأعمدة أن تكون قادرة على تلقي الحمولات المطبقة فعلياً في نقاط لا مركزية وذلك وفق معادلات المقاومة المطلوبة المعطاة في الفصل الخامس "صيع البيتون" من قبل الجمعية الوطنية الأمريكية للبيتون. وقد لا تتجاوز P_u المقدار P_n ، حيث ϕ عامل تخفيض السعة الحملية و P_n ، مقدرة بـ $(N) \text{ Kip}$ ، المقاومة الحديدية للعمود. في حال كانت P_u ، مقدرة بـ $(N) \text{ Kip}$ ، المقاومة الحديدية للعمود المطبق عليه حمولة بلا تمر كترية تساوي الصفر، فعندئذ تكون:

$$P_u = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

حيث:

f_y = مقاومة الخضوع لفولاذ التسليح، $(\text{Mpa}) \text{ Ksi}$.

f'_c = مقاومة الضغط في اليوم 28 للبيتون، $(\text{Mpa}) \text{ Ksi}$.

A_g = المساحة الخام للعمود، $(\text{mm}^2) \text{ in}^2$.

A_{st} = مساحة فولاذ التسليح، $(\text{mm}^2) \text{ in}^2$.

وبالنسبة للأعمدة المسلحة حلزونياً والمطبق عليها حمولات محورية فقط يكون:

$$P_u \leq 0.85 \phi P_n$$

وبالنسبة للأعمدة المسلحة بفولاذ مربوط وحاملة بحمولات محورية فقط يكون:

$$P_u \leq 0.80 P_n$$

تقاس نقاط تطبيق القوى اللا تمر كترية اعتباراً من مركز الثقل اللدن.

مركز الثقل اللدن هذا، الذي يقاوم الحمولة، يُحسب على افتراض أن البيتون يتعرض لإجهاد على نحو منتظم من $0.85 f'_c$ وأن الفولاذ يتعرض لإجهاد على نحو منتظم من f_y .

من الممكن أن يتم تحديد قدرة استيعاب الحمولة المحورية (السعة الحملية) P_u ، مقدرة بـ Kip (N)، للأعمدة القصيرة ذات المقطع المستطيل والخاضعة لحمولة محورية وانعطاف، من العلاقة:

$$P_u = \phi (0.85 f'_c b a + A'_s f_y - A_s f_s)$$

$$p_u e' = \phi \left[0.85 f'_c b a \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \right]$$

حيث:

e' = اللا مركزية، (mm) in، للحمولة المحورية المطبقة في نهاية العمود، وذلك بالنسبة لمركز ثقل التسليح الشد، محسوبة وفق الطرق التقليدية في تحليل الهيكل الإنشائي.

b = عرض الوجه المضغوط، (mm) in.

a = عمق توزع إجهاد الضغط المكافئ، (mm) in.

A'_s = مساحة التسليح المضغوط، (mm^2) in².

A_s = مساحة التسليح المشدود، (mm^2) in².

d = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل التسليح المشدود، (mm) in.

d' = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل التسليح المضغوط، (mm) in.

f_s = إجهاد الشد في الفولاذ، (Mpa) Ksi.

تفترض المعادلتان السابقتان أن a لا تتجاوز عمق العمود وأن التسليح يكون في الوجه أو في الوجهين الموازيين لمحور الانعطاف وأن التسليح في أي وجه يقع على مسافة تساوي تقريباً نفس المسافة من محور الانعطاف.

في حال نخضع فعلياً فولاذ الضغط عند المقاومة الحديدية أم لم يخضع، كما هو مفترض في هذه المعادلات والمعادلات التالية، يمكن التحقق من صحة ذلك عن طريق حسابات الانفعال المتوافقة. بمعنى، أنه عندما ينكسر البيتون، لا بد أن يكون الانفعال في فولاذ الضغط، $(c - d')/c$ ، أكبر من ذلك الانفعال عندما يبدأ الفولاذ بالخضوع، f_y/E_s .

وفي هذه الحالة، c هي المسافة، مقدرة بـ in (mm)، من أبعد سطح مضغوط إلى المحور المحايد و E_s عامل مرونة الفولاذ، مقدرة بـ Ksi (Mpa). يمكن أن يتم حساب الحمولة P_b التي تحقق شروط التوازن، من معادلة P_u السابقة بعد أن نأخذ $f_t = f_y$

$$\begin{aligned} a &= a_b \\ &= \beta_1 c_b \\ &= \frac{87,000 \beta_1 d}{87,000 + f_y} \end{aligned}$$

ويمكن أن يتم الحصول على عزم التوازن مقدراً بـ in.Kip (k.Nm)، من:

$$\begin{aligned} M_p &= P_b e_b \\ &= \phi \left[0.85 f'_c b a_b \left(d - d'' - \frac{a_b}{2} \right) \right. \\ &\quad \left. + A'_s f_y (d - d' - d'') + A_s f_y d'' \right] \end{aligned}$$

حيث: e_b هي لا مركزية الحمولة المحورية، مقدرة بـ in (mm)، بالنسبة لمركز الثقل لللدن. و d' هي المسافة، مقدرة بـ in (mm)، من مركز الثقل لللدن إلى مركز ثقل تسليح الشد.

عندما تكون P_u أقل من P_b أو عندما تكون اللامركزية e أكبر من e_b ، فالشد هو الذي يسيطر. وفي تلك الحالة التي يكون فيها تسليحي الشد والضغط غير متساويين، تكون المقاومة الحديدية:

$$P_u = 0.85f'_c bd\phi \left\{ \frac{\rho' m' - \rho m + \left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2 \left[(\rho m - \rho' m') \frac{e'}{d} + \rho' m' \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \right]}}{2} \right\}$$

حيث :

$$m = f'_y / 0.85 f'_c$$

$$m' = m - 1$$

$$\rho = A_s / bd$$

$$\rho' = A'_s / bd$$

حالات خاصة للتسليح

معادلة P_u السابقة من أجل تسليح متناظر في كلا الوجهين، تصبح:

$$P_u = 0.85f'_c bd\phi \left\{ \frac{-\rho + 1 - \frac{e'}{d} + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2\rho \left[m' \left(1 - \frac{d'}{d}\right) + \frac{e'}{d} \right]}}{2} \right\}$$

مقاومة العمود في حال كان الضغط هو المسيطر

معادلة P_u ، دون وجود تسليح ضغط، تصبح:

$$P_u = 0.85f'_c bd\phi \left\{ \frac{-\rho m + 1 - \frac{e'}{d} + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2 \frac{e' \rho m}{d}}}{2} \right\}$$

عندما تكون P_u أكبر من P_o ، أو e أصغر من e_b ، فإن الضغط هو المسيطر. وفي تلك الحالة، تكون المقاومة الحدية مساوية بصورة تقريبية:

$$P_u = P_o - (P_o - P_b) \frac{M_u}{M_b}$$

$$P_u = \frac{P_o}{1 + (P_o / P_b - 1)(e / e_b)}$$

حيث، M_u هي قدرة استيعاب العزم (السعة العزمية) تحت تأثير تركيب مؤلف من حمولة محورية وانعطاف مقدراً بـ P_o و (KNm) in Kip هي قدرة استيعاب الحمولة المحورية (السعة المحلية المحورية) مقدرة بـ (N) Kip للعنصر عندما يُحمّل بصورة تمرركزية وفق ما هو معطى.

من أجل تسليح متناظر أحادي الطبقة في كل جانب، يمكن أن تحسب المقاومة الحدية، عندما يكون الضغط هو المسيطر في عمود ذي عمق h ، من:

$$P_u = \phi \left(\frac{A'_s f_y}{e/d - d' + 0.5} + \frac{b h f'_c}{3 h e / d^2 + 1.18} \right)$$

الأعمدة الدائرية

يمكن أن يتم تعيين المقاومة الحدية للأعمدة الدائرية القصيرة، المزودة بقضبان تسليح دائرية المقطع، من المعادلات التالية:

عندما يسيطر الشد:

$$P_u = 0.85 f'_c D^2 \phi \left[\sqrt{\left(\frac{0.85 e}{D} - 0.38 \right)^2 + \frac{\rho_l m D_s}{2.5 D}} - \left(\frac{0.85 e}{D} - 0.38 \right) \right]$$

حيث:

D = القطر الإجمالي للمقطع، in (mm).

D = قطر دائرة التسليح، (mm) in

$$\rho_t = A_{st}/A_g$$

وعندما يكون الضغط هو المسيطر:

$$P_u = \phi \left[\frac{A_{st} f_y}{3e/D_s + 1} + \frac{A_g f'_c}{9.6D_e / (0.8D + 0.67D_s)^2 + 1.18} \right]$$

و تُعطى اللا تمر كزية الخاصة بشرط التوازن بصورة تقريبية وفق:

$$e_b = (0.24 - 0.39 \rho_t m) D$$

الأعمدة القصيرة

يمكن أن يتم تعيين المقاومة الحديدية للأعمدة القصيرة المربعة ذات العمق h والمزودة بقضبان تسليح دائرية المقطع، من المعادلات التالية:

وعندما يكون الشد هو المسيطر:

$$P_u = 0.85bh f'_c \phi \left[\sqrt{\left(\frac{e}{h} - 0.5 \right)^2 + 0.67 \frac{D_s}{h} \rho_t m} - \left(\frac{e}{h} - 0.5 \right) \right]$$

وعندما يكون الضغط هو المسيطر:

$$P_u = \phi \left[\frac{A_{st} f_y}{3e/D_s + 1} + \frac{A_g f'_c}{12he / (h + 0.67D_s)^2 + 1.18} \right]$$

الأعمدة النحيفة

وعندما يتوجب أخذ نخافة العمود بعين الاعتبار، فلا بد أن يتم تعيين اللا تمر كزية من، $c = M_e/P_u$ ، حيث: M_e العزم المكبر.

4

الصيغ الخاصة بالأوتاد
وعموم أنواع الأوتاد الأرضية

Piles And Piling Formulas

نبدأ هذا الفصل بسرد بعض الأشكال التوضيحية عن الأوتاد.

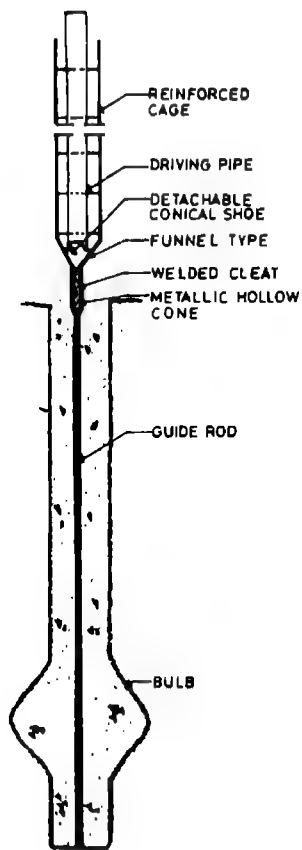


FIG. 2

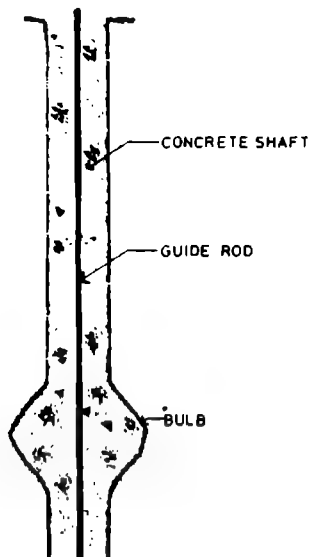


FIG. 1

مراحل سير وتد

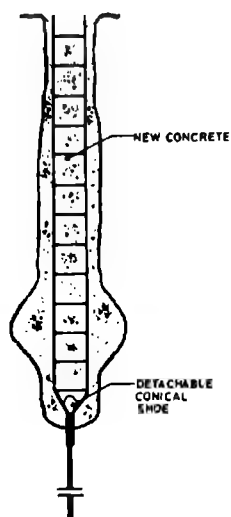


FIG 4

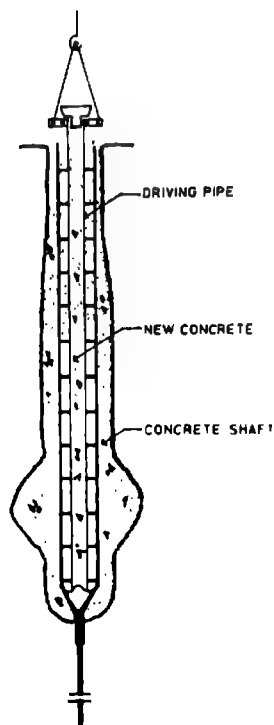


FIG 3

تابع / مراحل سبر وتد

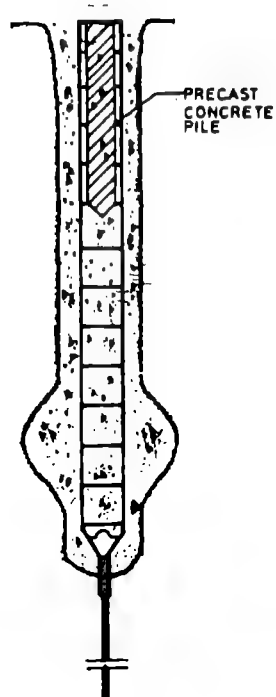
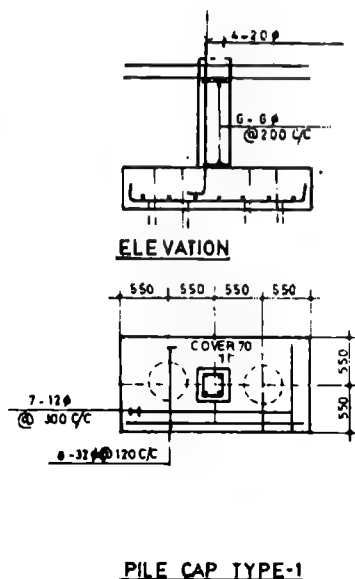
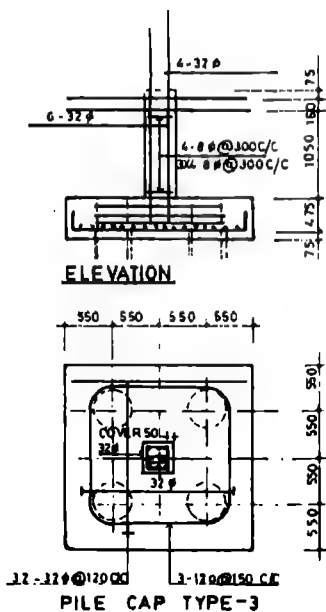


FIG.5

تابع / مراحل سبر وند



نماذج من توضع قبعات الأوتاد تحت الأساسات

الحمولات المسموحة على الأوتاد Allowable Loads On Piles

الصيغة الدينامية (أو الديناميكية)، المستخدمة على نطاق واسع في الولايات المتحدة، لتحديد الحمولة الستاتيكية المسموحة على الوتد، هي الصيغة المسماة بصيغة الأخبار الهندسية - Engineering News formula. فمن أجل الأوتاد الغائصة بالمطرقة الآلية الساقطة تكون الحمولة المسموحة:

$$P_a = \frac{2WH}{p+1}$$

ومن أجل الأوتاد الغائصة بالمطرقة البخارية، تكون الحمولة المسموحة:

$$P_a = \frac{2WH}{p+0.1}$$

حيث:

P_a = حمولة الوتد المسموحة، مقدرة بـ (Kg) tons

W = وزن المطرقة، (Kg) tons

H = ارتفاع سقوط المطرقة، (m) ft

p = مقدار احتراق الوتد للأرض بالطريقة، (mm) in. تتضمن المعادلتان السابقتان عامل أمان يساوي 6.

بما يخص جملة مجتمعة من الأوتاد تخرق طبقة ترابية تتمتع بمواصفات تحميل جيدة، وتقوم بنقل حمولاتها إلى تربة عن طريق نقاط نقل الحمولة في نهايات الأوتاد، ستكون الحمولة الإجمالية المسموحة عبارة عن مجموع الحمولات المسموحة المستقلة الخاصة بكل وتد.

أما بالنسبة للأوتاد التي تقوم بنقل حمولاتها إلى التربة عن طريق الاحتكاك السطحي على جوانب الأوتاد، ستكون الحمولة الإجمالية المسموحة أصغر من مجموع الحمولات المستقلة الخاصة بكل وتد، بسبب تبادل الفعل بين إجهادات القص والانفعالات المسببة في التربة من قبل كل وتد.

الأوتاد الشاقولية المحملة جانبياً

Laterally Loaded Vertical Piles

مقاومة الوتد الشاقولي للحمولات الجانبية (اللا شاقولية) تابعة لكل من الصلابة المرونية لغمد الوتد وصلابة تحمل التربة في القسم العلوي الذي يتراوح من 4 إلى 6 D من طول الغمد، حيث D = قطر الوتد أو درجة ثباتية أو غوص رأس الوتد.



نماذج من آلات سبر الأوتاد

لقد تمّ تطوير علاقة التضاد المتبادلة بين الحمولة الجانبية وتشوّه رأس الوتد من خلال الخلول اللابعدية التخطيطية للمهندسين ريز وماتلوك - Reese and Matlock .

فالحل يفترض أن عامل التربة K يتزايد خطياً مع العمق z : بمعنى، $K = n_h Z$ ، حيث n_h = الأمثال العددية لرد فعل الطبقة السطحية المسوّاة، ويُحسب الطول المُميّز للوتد T من:

$$T = \sqrt{\frac{EI}{n_h}}$$

حيث: EI = صلابة الوتد.

ويعطى التشوه الجانبي y ، لوتد ذي رأس طليق الحركة ويخضع لحمولة جانبية P_t وعزم M_t مطبق في خط الأرض (الخط الناتج عن تقاطع المستوي الشاقولي مع المستوي الأفقي)، بالعلاقة:

$$y = A_y P_t \frac{T^3}{EI} + B_y M_t \frac{T^2}{EI}$$

حيث، A_y و B_y أمثال عددية لا بعدية. كذلك فالأمثال العددية اللا بعدية تُستخدم لحساب قيمة ميل الوتد والعزم والقص ورد فعل التربة على امتداد الغمد.

من أجل العزم الموجب:

$$M = A_m P_t T + B_m M_t$$

يتم تمثيل القيمتين الموجبتين M_t و P_t بعزم يدور مع عقارب الساعة وبحمولات موجهة نحو اليمين على رأس الوتد في خط الأرض. يمكن تطبيق الأمثال العددية لحساب قيمة تشوه رأس الوتد وحساب قيمة العزم الموجب الأعظمي وموضعه التقريبي في الغمد، z/T ، حيث z = المسافة تحت خط الأرض، وقد تم إدراجها في الجدول 4.1.

الجدول 4.1 النسبة المثوية لحمولة القاعدة المنقولة إلى الجوف أو الغمد الصخري.

4.0	E_t/E_p		L/d_t
	1.0	0.25	
44	48	54*	0.5
18	23	31	1.0
8	12	17	1.5
4	8	13*	2.0

* مقدرة بواسطة تفسير حل طريقة العناصر المحدودة من أجل أمثال بواسون = 0.26

* من البداية هنا أن يُحدّد المستوي الشاقولي بالمستوي الذي يحوي خط الحمل. (المعدّ).

العزم السالب، المطبق على رأس الوتد عن طريق الغطاء الراسي للوتد أو عن طريق أي عنصر إنشائي مُقيد الحركة، يمكن أن يتم حساب قيمته كتابع لميل الرأس (دوران) من العلاقة:

$$-M_t = \frac{A_\theta P_t T}{B_\theta} - \frac{\theta_s EI}{B_\theta T}$$

حيث، θ_s (rad) تمثل دوراناً موجباً بعكس عقارب الساعة لرأس الوتد، A_θ و B_θ أمثال عددية (انظر الجدول 4.1). تأثير درجات الثباتية (الغوص) لرأس الوتد على y و M يمكن أن تُحسب بتعويض قيمة M_t من المعادلة السابقة في المعادلتين السابقتين. هنا y و M . لاحظ أنه من أجل حالة الرأس الموثوق يكون:

$$y_f = \frac{P_t T^3}{EI} \left(A_y - \frac{A_\theta B_y}{B_\theta} \right)$$

قدرة استيعاب القدم الارتكازية للحمولة (السعة الحملية للقدم)

Toe Capacity Load

يُمكن حساب حمولة الرأس المدبب الحديدية، بالنسبة للأوتاد المشيدة في ترب متماسكة، من العلاقة:

$$Q_{bu} = A_b q = A_b N_c C_u \quad (4.1)$$

حيث:

A_b = مساحة تحميل نهاية الوتد.

q = السعة الحملية (قدرة استيعاب التحميل) للتربة.

N_c = عامل السعة الحملية.

C_u = مقاومة القص للتربة غير المصرفة، ضمن حدود منطقة تبعد مسافة تساوي قطر الوتد فوق الرأس المدب للوتد وتبعد مسافة تساوي ضعفي قطر الوتد أسفل الرأس المدب للوتد.

بالرغم من أن الشروط النظرية تفترض أنه من الممكن أن تتراوح N_u بين 8 و 12، إلا أن N_u تؤخذ عادة مساوية لـ 9.

بالنسبة للترب اللا متماسكة، يُعبر عن إجهاد مقاومة قدم الارتكاز q بصورة تقليدية وفق المعادلة (4.1) باستخدام عامل السعة الحملية N_q وضغط التحميل الفعّال عند رأس الوتد المدب σ'_{vo} :

$$q = N_q \sigma'_{vo} \leq q_1 \quad (4.2)$$

تبين بعض الأبحاث، بما يخص الأوتاد الغائصة في الترب الرملية، أن P تقترب، كما هو الحال بالنسبة لـ f_c ، من القيمة شبه الثابتة q_1 ، بعد أن يتم اختراق طبقة التحميل في مدى يتراوح من 10 إلى 20 مرة من قطر الوتد.

وبصورة تقريبية:

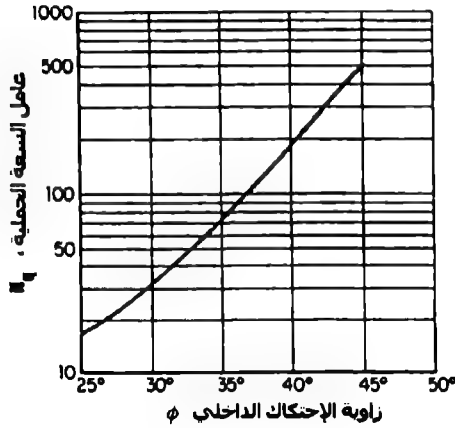
$$q_1 = 0.5 N_q \tan \phi \quad (4.3)$$

حيث ϕ هي زاوية احتكاك تربة التحميل أسفل العمق الحرج. وتعطى قيم N_q المطبقة على الأوتاد من المعادلة 4.1. العلاقات الارتباطية الحقلية المأخوذة من بيانات تجارب التربة بين q و q_1 قد تم تطبيقها للتوقع بنجاح السعة الحملية لنهايات الأوتاد في الترب الرملية.

Groups Of Piles

جملة مجتمعة من الأوتاد

قد تتألف الجملة الوتدية من حزمة أوتاد أو عدة أوتاد في صف ما. ويكون سلوك الجملة مُلقناً من قبل جملة من الشروط الهندسية والتوجيهية والمكانية للحمولة وكذا من قبل ظروف الطبقة التي تقع تحت السطح مباشرة.



الشكل 4.1 عامل السعة الحملية الخاص بالترب الحبيبة والمرتبطة مع زاوية الاحتكاك الداخلي.

يُعبّر عادة عن الاعتبارات الخاصة بالحمولة الحديدية باستخدام عامل كفاءة الجملة، الذي يستخدم لاختصار (لتخفيض) السعة الحملية لكل وتد في الجملة. ويُعرّف عامل الكفاءة E_g كنسبة من السعة الحملية الحديدية للجملة على مجموع السعات الحملية الحديدية لكل وتد في الجملة.

تُحسب قيمة E_g عادةً، كمجموع لمقاومة الاحتكاك الحديدية الطرفية أو الجانبية وسعات تحميل نهايات المصدات الترابية الكتلية ذات العرض B والعمق W والطول L ، والتي تساوي تقريباً عامل كفاءة الجملة التودية. فمن أجل وتد مفترض وتبعد S (بين الأوتاد) وعدد من الأوتاد n ، تكون قيمة E_g :

$$E_g = \frac{2(BL + WL)\bar{f}_s + BW_g}{nQ_u} \quad (4.4)$$

حيث، $\bar{\alpha}$ إجهاد الاحتكاك الجانبي المتوسط للمصد الكتلي و Q_u السعة الحملية لوتد منفرد. إن العدد المحدود من تجارب الجملة الوتدية ونموذج التجارب المتاح يفترض أنه من أجل ترب متماسكة يكون $E_p > 1$ إذا كانت S أكبر من 2.5 مرة من قطر الوتد ويفترض من أجل الترب اللا متماسكة أن $E_p > 1$ من أجل أصغر تباعد عملي. والاستثناء الممكن يعود إلى حالة أوتاد قصيرة جداً وذات مقطع عرضي متناقص إلى حد صغير جداً (مُدببة) وغائصة في تربة رملية هشة جداً.

إن مدى التباعد الوتدي الأصغري، عملياً، بالنسبة للأوتاد التقليدية، يقع ضمن 2.5 إلى 3.0 D. أما التباعد الأكبر فيطبق على نحو نموذجي في الأوتاد ذات القواعد الممتدة.

تُحسب الطريقة التقريبية الجيدة، في تحليل الجملة الوتدية، الحد الأعلى لحمولة مقاومة الجملة Q_{gd} من:

$$Q_{gd} = A_F \gamma_F H_F + P H_{c_n} \quad (4.5)$$

حيث؛ H_F و γ_F و A_F تمثل الثخانة وواحدة الوزن ومساحة السطح المملوء بالأوتاد في الجملة.

P و H و c_u هي: طول محيط الجملة وثخانة طبقات التربة مجتمعةً المخترقة بالأوتاد ومقاومة القص غير المصروفة (في الترب المشبعة) لها. هذا النوع من القوى كـ Q_{gd} يمكن تطبيقها فقط من أجل حالة الأوتاد المطروقة في طبقة صخرية من خلال حمولة مفرطة في الوزن في طبقة تربة تحت سطحية قابلة للانضغاط إلى حد كبير.

تعتمد عملية حساب وتصميم الجيوب الصخرية، بصورة تقليدية، على العلاقة:

$$Q_d = \pi d_s L_s f_R + \frac{\pi}{4} d_s^2 q_u \quad (4.6)$$

حيث:

Q_u = حمولة التصميم المسموحة على الجيب الصخري.

$$d = \text{قطر الجيب.}$$

$$L = \text{طول الجيب.}$$

$$f_R = \text{الإجهاد المسموح على التلاصق (الترابط) الصخري - البيتوني.}$$

$$q_u = \text{ضغط التحميل المسموح على الصخر.}$$

تُظهر قياسات توزع الحمولة، على أي حال، أن حمولة الانتقال إلى القاعدة أصغر بكثير من تلك الحمولة المحددة بالعلاقة (4.6). ويتم إثبات هذا السلوك عن طريق البيانات المعطاة في الجدول 4.1، حيث تكون L/d هي نسبة طول الغمد الأرضي (فتحة في الأرض يدخل فيها الوزن) إلى قطر الغمد و E_p/E_r هي نسبة عامل الصخر إلى عامل الغمد. يعكس الحل بطريقة العناصر المحدودة الملخص في الجدول 4.1 إلى حد ما الوضعية الواقعية في حال لم يتجاوز متوسط مقاومة قص الجدار الصخري القيمة الحدية f_R ، بمعنى، عدم حدوث الانزلاق على امتداد ضلع جدار الجيب.

يتم تطبيق طريقة التصميم المبسطة، التي تأخذ بعين الاعتبار وعلى نحو تقريبي شكل الانسحام أو التوافق بين مقاومة الجيب والقاعدة، كما يلي:

1. اجعل الجيب الصخري الخاص بحمولة التصميم Q_u متناسباً مع المعادلة (4.6)

على فرضية أن إجهاد تحميل النهاية أقل من q_u [فإذا كان $q_u/4$ ، فهو يكفي]

$$\left[\frac{q_a}{4} d^2 \left(\frac{\pi}{4} \right) \right] = Q_b = \text{حمولة القاعدة}$$

2. احسب $Q_u = R Q_b$ ، حيث، R هي أمثال (مضاعفات) حمولة القاعدة المفسرة من الجدول 4.1.

3. إن لم تكن $R Q_u$ مساوية إلى Q_b الافتراضية، كرر العملية مع قيمة جديدة لـ q_u إلى أن يتم الوصول إلى قيمة مقارنة، و $q_u \leq q$.

لابد للتصميم النهائي أن يُختبر إزاء درجة (أو مقدار) غوص التثبيت المسموحة للغمد المحفور.

يتم الحصول على حل أكثر واقعية وفق الطريقة السابقة باتباع توصيات روزنبرغ ويورنيوكس - Rosenberg-Journeaux's Recommendations وذلك إذا ما تم استبدال f_{Ru} بـ f_R .

مثالياً، يجب أن يتم تعيين f_{Ru} من اختبارات الحمولة. وإذا ما تم اختيار هذا المتحول أو الوسيط (البارامتر) من البيانات التي لا تضع حداً مميزاً، فإن عامل أمان يساوي على الأقل إلى 1.5 يجب أن يطبق على f_{Ru} كتعويض عن الريبات والشكوك المرتبطة بعلاقات المقاومة المتبادلة UC (روزنبرغ ويورنيوكس "تجارب الاحتكاك وتحميل النهايات على الوسادة الصخرية من أجل تصحيح جيب ذي سعة حملية عالية" المجلة الجيوتكنيكية الكندية 13 (3))

تحليل استقرارية الأساس Foundation-Stability Analysis

الحمولة العظمى، التي يمكن أن تعبا بها أو تتحملها عناصر الأساسات القائمة (ذات عمق قليل) عند طور الانهيار المبكر (السعة الحملية)، تكون تابعة ل تماسك وزاوية احتكاك الترب الحاملة، بالإضافة إلى عرض (B) وشكل الأساس. ويُعبّر عن السعة الحملية الصافية بوحدة المساحة، q_u ، لأساس طويل بطريقة تقليدية وفق:

$$q_u = \alpha_f c_u N_c + \sigma'_{vo} N_q + \beta_f \gamma B N_\gamma \quad (4.7)$$

حيث؛

$\alpha_f = 1.0$ من أجل أساسات شريطية وتساوي 1.3 من أجل أساسات دائرية أو مربعة.

c_u = مقاومة القص غير المصروفة للتربة.

σ'_{vo} = إجهاد القص الشاقولي الفعّال في التربة عند مستوى أسفل الأساس.

$\beta_r = 0.5$ من أجل أساسات شريطية وتساوي 0.4 من أجل أساسات مربعة وتساوي 0.6 من أجل أساسات دائرية.

γ = واحدة الوزن للتربة.

B = عرض الأساس بالنسبة للأساسات المربعة والمستطيلة ونصف القطر بالنسبة للأساسات الدائرية.

N_c, N_q, N_γ = عوامل السعة الحملية، وهي توابع لزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ .

بما يخص التحميل اللا مصرف (السريع) للترب المتماسكة، تكون $\phi = 0$ وتختصر المعادلة (4.7) إلى:

$$q_u = N_c' c_u \quad (4.8)$$

حيث؛ $N_c' = \alpha_r N_c$.

أما بما يخص التحميل المصرف (البطيء) للترب المتماسكة تكون ϕ و c_u محددة عن طريق زاوية الاحتكاك الفعال ϕ' والإجهاد الفعال c_u' .

التعديلات على المعادلة (4.7) متاحة أيضاً لتوقع قيمة السعة الحملية للتربة المفروشة وكذا التحميل اللا تمر كزي.

بطبيعة الحال، نادراً ما تتحكم q_u بتصميم الأساس عندما يكون عامل الأمان ضمن مدى يتراوح بين 2.5 إلى 3. (بالتأكيد لابد من تحريض الزحف أو الخضوع المكاني لكي تكون هناك إمكانية لحدوث غوص مفرط. يأخذ هذا الاعتبار أهمية خاصة عندما يتم اختيار عامل أمان للأساسات المستندة على ترب غضارية من رنخوة إلى ثابتة وذات لدونة من متوسطة إلى عالية).

تعتمد المعادلة (4.7) على أساس شريطي طويل إلى حد لا نهائي، لذا لابد من تصحيحها من أجل الأشكال الأخرى للأساسات. وعوامل التصحيح التي يجب أن تضرب بها عوامل السعة الحملية معطاة في الجدول 4.2 الذي فيه L = طول الأساس.

يفترض مشتق المعادلة (4.7) أن الترب متجانسة ضمن حدود المنطقة المعرضة للإجهاد، والتي تشكل حالة نادرة. بالمحصلة، قد تكون التعديلات مطلوبة بسبب الابتعاد عن التجانس. فإذا كان التغير معتدلاً في مقاومة الترب الرملية فيكون من الأكثر أمناً استخدام المعادلة (4.7) ولكن بعوامل سعة حملية تُمثل المقاومة المتوسطة التي لها ميزة مفضلة عن غيرها.

الجدول 4.2 التصحيحات الشكلية الخاصة بعوامل السعة الحملية للأساسات العائمة (ذات العمق القليل)

عامل التصحيح			شكل الأساس
N_y	N_q	N_c	
$1 - 0.4 \left(\frac{B}{L} \right)$	$1 + \left(\frac{B}{L} \right) \tan \phi$	$1 + \left(\frac{B}{L} \right) \left(\frac{N_q}{N_c} \right)$	مستطيل*
0.60	$1 + \tan \phi$	$1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right)$	دائرة ومربع

* عامل الأمان غير مطبوع بالنسبة للأساسات انشربطية الطولية.

قد يكون للتحميل اللامركزي تأثير قوي في اختيار مقدار التحميل بالنسبة لتصميم الأساس. فالطريقة التقليدية هي جعل الأساس متناسباً بحيث يستطيع أن يعا أو يتحمل القوة النهائية الناتجة ضمن ثلثه الأوسط. فيفرض أن الأساس صلب ويُفرض أن ضغط التحميل يتغير خطياً كما هو موضح بالشكل (4.2b). فإذا كانت القوة النهائية الناتجة تقع خارج الثلث الأوسط عن الأساس، فيفرض أن هناك تحميلاً فوق جزء من الأساس فقط كما هو موضح في الشكل (4.2d). وبالنسبة للحالة التقليدية يكون ضغط التحميل الأعظمي والأصغري:

$$q_m = \frac{P}{BL} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (4.9)$$

حيث:

B = عرض الأساس المستطيل.

L = طول الأساس المستطيل.

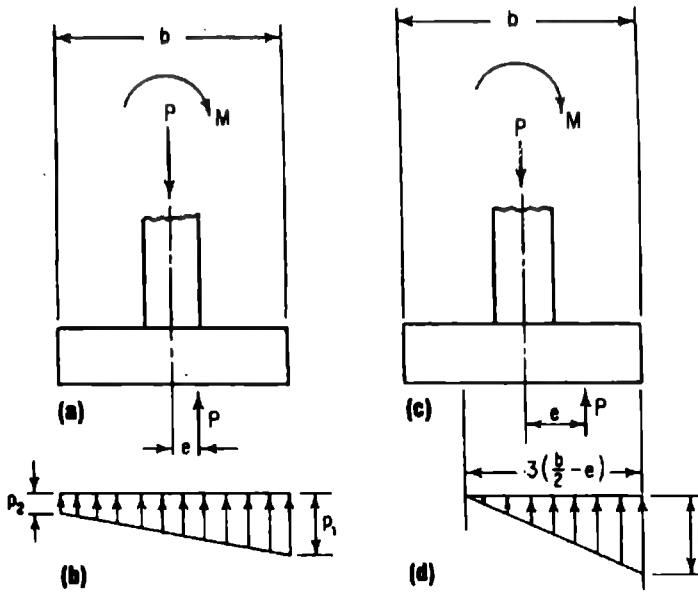
e = لا مركزية التحميل.

بالنسبة للحالة الأخرى (الشكل c 4.3)، يتراوح مدى ضغط التربة من 0 إلى أقصى مدى:

$$q_m = \frac{2P}{3L(B/2 - e)} \quad (4.10)$$

بما يخص الأساسات المربعة أو المستطيلة الخاضعة لعزمي انقلاب حول المحورين الأساسيين وكذا بما يخص الأساسات اللا متناظرة، يتم تعيين لا مركزيي التحميل e_1 و e_2 حول المحورين الأساسيين. بالنسبة للحالة التي تكون فيها مساحة التحميل للأساسات مشغولة أو مُحملة بأكملها، فإن q_m تُعطى عن طريق مسافات الابتعاد عن المحورين الأساسيين c_1 و c_2 وعن طريق نصف قطر الدوران لمساحة الأساس حول المحورين الأساسيين r_1 و r_2 وعن طريق مساحة الأساس A وذلك كما يلي:

$$q_m = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e_1 c_1}{r_1^2} + \frac{e_2 c_2}{r_2^2} \right) \quad (4.11)$$



الشكل 4.2 أساسات خاضعة لعزم انقلاب

بالنسبة للحالة التي يكون فيها جزء من الأساس فقط خاضعاً للتحميل، يتم تحديد الضغط الأعظمي بصورة تقريبية عن طريق التجربة والخطأ أو ما يسمى المحاولة بالخطأ والصواب.

بما يخص جميع حالات تحميل الاستناد اللا مركزي، يجب ألا تتجاوز ضغوط (حافة الأساس) العظمى مقاومة قص التربة، وكذلك يجب أن يكون عامل الأمان على الأقل 1.5 (ويفضل 2) ضد عزم الانقلاب.

السعة الحملية المحورية للأوتاد المفردة (المنعزلة)

Axial-Load Capacity Of Single Piles

يمكن أن تؤخذ السعة الحملية للوتد Q_u كمجموع لمقاومتين، هما مقاومة التحمل للغمس التراي Q_{bu} ومقاومة تحمل قدم الاستناد Q_{su} .

إذن، فالحمولة المسموحة Q_a يمكن أن يتم تعيينها إما من المعادلة (4.12) أو من المعادلة (4.13):

$$Q_a = \frac{Q_{su} + Q_{bu}}{F} \quad (4.12)$$

$$Q_a = \frac{Q_{su}}{F_1} + \frac{Q_{bu}}{F_2} \quad (4.13)$$

حيث: F و F_1 و F_2 هي عوامل أمان. وبصورة نموذجية، تقع F ، بالنسبة للمنشآت الدائمة، بين 2 و3، إلا أنها قد تكون أكبر من ذلك بالاعتماد على الثقة المعول عليها والتي يتم إدراكها في التحليل والإنشاء وكذا بالاعتماد على نتائج الانهيار. تُقرُّ المعادلة (4.13) بأن التحولات، المفترض أن تحدث تحت تأثير التعبئة التامة لـ Q_{bu} و Q_{su} ، ليس من الضروري أن تتفق معها.

فمثلاً، قد تتنامى Q_{su} عند إزاحات أقل من 0.25 إنش (6.35 mm)، بينما قد تتحقق Q_{bu} عند إزاحة لقدم الاستناد مكافئة لـ 5 أو لـ 10 من قطر الوتد.

بالحصول، من الممكن أن تؤخذ قيمة F_1 مساوية إلى 1.5 و F_2 مساوية إلى 3.0، وذلك إذا كان عامل الأمان المكافئ المفرد يساوي F أو أكبر منها.

(إذا كان، $Q_{su}/Q_{bu} < 1.0$ ، فإن F أقل من 2.0، وتعتبر عادة عامل أمان رئيسي بالنسبة للمنشآت الدائمة).

Shaft Settlement

عمق غمد التثبيت

يمكن أن يتم تقدير عمق أغماد التثبيت المحفورة من خلال تحليل الروابط الحقلية (العملية) المتبادلة أو من خلال تحليل التوافقية بين الحمولة والتحول. الطرق الأخرى المستخدمة لتقدير عمق تثبيت الأغماد المحفورة، منعزلة أم على شكل مجموعة، تتطابق تماماً مع تلك الطرق المستخدمة في الأوتاد. وتتضمن هذه الأخيرة الحلول المرنة والمرنونة نصف الحقلية وحلول نقل الحمولة وذلك بالنسبة لأغماد منعزلة محفورة في ترب متماسكة أو في ترب غير متماسكة.

لا بد أن يتم حساب قيمة مقاومة الشد والحمولات الجانبية من قبل فتحات الأغماد المحفورة المستقيمة حسبما ورد تحديده في أساسات الأوتاد. بالنسبة للأغماد الصلبة نسبياً بطول مُمَيَّز T أكبر من 3، يوجد دليل على أن وصلات تثبيت الوتد بالغمد تزيد من المقاومة الجانبية. والمقاومة الحدية Q_{ul} ، المضافة إلى الجزء المرفوع من الغمد المحاط بالوصلة، يمكن حساب قيمتها على نحو تقريبي، بالنسبة لنماذج تربة متماسكة ومن أجل السعة الحملية [Eq.(4.14)] والاحتكاك الاسطواني [Eq.(4.15)]، كتاب لقطر الغمد D ولقطر الوصلة D_b .

من أجل الحل بالسعة الحملية، تكون:

$$Q_{ul} = \frac{\pi}{4} (D_b^2 - D^2) N_c \omega C_u + W_p \quad (4.14)$$

يُعتبر معامل تخفيض المقاومة القصية ω في المعادلة (4.14) أن التأثيرات مضطربة وتتراوح من $\frac{1}{2}$ (في الإنشاء الرطب) إلى $\frac{3}{4}$ (في الإنشاء ذي الملائط الجاف). ويمثل C_u المقاومة القصية اللامصرفة للتربة فوق سطح الوصلة تماماً، و N_c هو عامل السعة الحملية.

يفترض أن سطح اقيار نموذج اسطوانة الاحتكاك، بصورة تقليدية، شاقولي، بدءاً من قاعدة الوصلة. وبالتالي يمكن أن يتم تعيين Q_{ul} من أجل الترب المتماسكة واللامتماسكة من:

$$Q_{ul} = \pi_n L f_{ul} + W_s + W_p \quad (4.15)$$

حيث؛

f_{ul} إجهاد الاحتكاك السطحي الحدّي المتوسط الذي يتنامى في الشد على مستوي الانهيار، بمعنى؛ $f_{ul} = 0.8 \bar{C}_u$ من أجل الترب الغضارية أو $f_{ul} = K \bar{\sigma}_{vo} \tan \phi$ من أجل الترب الرملية.

W_s و W_p تمثلان وزن التربة المحتواة ضمن مستوي الانهيار ووزن الغمد على التوالي.

مقاومة الغمد في الترب اللا متماسكة

Shaft Resistance In Cohesionless Soils

إجهاد المقاومة للغمد \bar{f}_s تابع لزاوية احتكاك الغمد التراي δ (درجة) ولعامل ضغط التربة (الأرض) الجانبي الحقلي K :

$$\bar{f}_s = K \bar{\sigma}_{vo} \tan \delta \leq f_l \quad (4.16)$$

عندما تصل اختراقات الأوتاد الإزاحية إلى 10 وحتى 20 مرة من قطر الوند (في رمل هش أو كثيف)، يقترب الاحتكاك السطحي المتوسط من القيمة الحدودية f_l .

وبالاعتماد على الكثافة النسبية وبنية التربة، بصورة أولية، تكون f_l قد حُسبت قيمتها التقريبية بطريقة محافظة باستخدام المعادلة (4.16) لحساب f_s .

بما يخص الأوتاد الطويلة، نسبياً، الغائصة في الرمل، تؤخذ K بطريقة نموذجية ضمن مجال يتراوح من 0.7 إلى 1.0 وتؤخذ δ حوالي $(\phi - 5)$ ، حيث ϕ هي زاوية الاحتكاك الداخلي مقدرة بالدرجات.

وبالنسبة للأوتاد التي طولها أقل من 50 قدم (15.2 m)، يكون من المرجح أكثر أن تتراوح K من 1.0 إلى 2.0، إلا أنها قد تكون أكبر من 3.0 بالنسبة للأوتاد المتناحفة

(تتناحف باتجاه الرأس الغائص إلا أنها غير مدببة). كذلك فقد تم استخدام الإجراءات والطرق الخلقية لحساب قيمة f_s من تجارب الموقع الطبيعي - in situ، مثل تجارب اختراق المخروط والاختراق القياسي والكثافة النسبية. تعتمد المعادلة (4.17) على تجارب الاختراق القياسي، وكما هو مقترح من قبل ميرهوف Meyerhof، فهي محافظة على عموميتها وتمتاز بالبساطة:

$$\bar{f}_s = \frac{\bar{N}}{50} \quad (4.17)$$

حيث، \bar{N} = مقاومة الاختراق القياسية المتوسطة ضمن الطول المدفون للوند و \bar{f}_s تُعطى بـ tons/ft^2 .

5

صيغ البيتون

Concrete Formulas

Reinforced Concrete

البيتون المسلح

عند التعامل مع مادة البيتون المسلح وكذا عند تصميم المنشآت البيتونية المسلحة، فإن ما يتم استخدامه على نحوٍ واسع هو الإصدار الأخير لـ:

The American Concrete Institute (ACI) Building Code Requirements for Reinforced Concrete

[متطلبات كود البناء للبيتون المسلح للعائدة لمعهد الدراسات البيتونية الأمريكي].
سيُشار إلى المراجع المستقبلية (من الآن فصاعداً) عن هذه الإصدارات بـ كود الـ ACI (the ACI Code).

كذلك الأمر، فإن ما يتم استخدامه على نحوٍ مفرط في تصميم وبناء منشآت البيتون المسلح هو منشورات جمعية الاسمنت البورتلاندي - Portland Cement Association (PCA) تغطي الصيغ في هذا الفصل المبادئ العامة للبيتون المسلح واستخدامه في شتى التطبيقات الإنشائية. وكلما تطلب الأمر مواجهة الكود، لابد للقارئ أن يعود إلى الإصدار الحالي لكود الـ ACI المذكور سابقاً. كما لابد له أيضاً من الرجوع إلى إصدارات (منشورات) الـ PCA الخاصة بالتوصيات والمتطلبات الحديثة.

نسبة الماء إلى مواد الخلطة الإسمنتية

Water/Cementitious Materials Ratio

تُستخدم نسبة الماء/المواد الإسمنتية (C/W) في كلٍّ من تحليل مقاومة الشد والضغط للإسمنت البيتوني البورتلاندي. ويتم إيجاد هذه النسبة من:

$$\frac{W}{C} = \frac{W_m}{W_c}$$

حيث:

W_m = وزن ماء المزج في الخلطة، مقدراً بـ (Kg)lb.

W_c = وزن المواد الإسمنتية في الخلطة، مقدراً بـ (Kg)lb.

يضع الكود ACI جداول للعلاقة النموذجية بين النسبة W/c بالوزن (أو الونبة 9 ومقاومة البيتون على الضغط.

تغير النسب (نسب w)، الخاصة بالبيتون الذي لا يتضمن محتوى هوائي، بين 0.41 من أجل مقاومة ضغطاً 6000 lb/in^2 (41 MPa) لمدة 28 يوم و 0.82 من أجل مقاومة ضغط 2000 lb/in^2 (14 MPa). أما بما يخص البيتون ذا المحتوى الهوائي، فإن النسب تتغير من 0.40 إلى 0.74 من أجل مقاومتي ضغط 5000 lb/in^2 (34 MPa) و 2000 lb/in^2 (14 MPa) على التوالي. تأكد من ذلك بالرجوع إلى كود الـ ACI من أجل قيمة ملائمة للنسبة W/c عند إعداد التصميم أو تحليل البيتون.

عدا عن ذلك، يضع كود الـ ACI جداولاً للنسب W/c الأعظمية وذلك عندما لا تتوفر بيانات أو معلومات عن المقاومة. فالنسب المطلقة W/C بالوزن تتغير من 0.67 إلى 0.38 من أجل بيتون بلون محتوى هوائي ومن 0.54 إلى 0.35 من أجل بيتون بمحتوى هوائي. وهذه القيم خاصة بمقاومة الضغط المميزة 28 يوم f_c مقدرة بـ lb/in^2 أو بـ MPa وذات قيمة تتراوح من 25 lb/in^2 (17 MPa) إلى 5000 lb/in^2 (34 MPa). مرة أخرى، عد إلى كود الـ ACI قبل أن تقوم بأي تصميم أو اتخاذ قرارات إنشائية.

كذلك، فقد مُت جدولة النسب الأعظمية W/C ، الخاصة بشروط إنشائية متنوعة، في كود الـ ACI. وتتضمن الشروط الإنشائية، البيتون المحمي من التعرض للصقيع وذوبانه والبيتون المعني بأن يكون كتيماً للماء والبيتون المعرض لأملاح تذبذبية ولمايه ضاربة للملوحة ولمايه بحرية، ... الخ. الصيغ التطبيقية المتعلقة بالنسب W/C سوف تعطى في هذا الفصل.

"لاحظ أنه كلما كبرت النسبة W/C قلت مقاومة ضغط البيتون. (المعدّ).

حجم خلطة البيتون المكافئة لمهمة ما

Job Mix Concrete Volume

يمكن أن يتم اختبار الخلطة البيتونية التحريية لتعيين كم يجب من مادة البيتون أن تُشحن من موقع الخلط. ولكي تُحدّد الحجم اللازم للمهمة، اجمع الحجم المطلق V_u للمركبات الأربعة: الإسمنت والبحص والرمل والماء.

قم بإيجاد V_u من أجل كل مركبة من:

$$V_u = \frac{W_L}{(SG)W_u}$$

حيث:

V_u = الحجم المطلق، ft^3 (m^3).

W_L = وزن المادة، lb (Kg).

SG = الوزن النوعي للمادة.

W_u = كثافة الماء عند الشروط الجوية النظامية (62.4 lb/ft^3 ; 1000 Kg/m^3)

ومن ثم، سيكون حجم العمل الناتج يساوي إلى مجموع V_u للإسمنت والبحص والرمل والماء.

عامل مرونة البيتون Modulus Of Elasticity Of Concrete

يُعطى عامل مرونة مادة البيتون - المطور بالطريقة المعدلة من قبل كود الـ ACI - وفق العلاقة:

* يفترض هنا أن كمية الأمطار المكعبة من مادة البيتون اللازمة للمنشأة معروفة، ويبقى حساب حجم الخلطة أو ما يسمى حجم خلطة المركبات البيتونية لكي نخصل على الحجم اللازم المكافئ، لحجم المنشأة تفادياً لحصول هدر أو نقص. ٢. (المعدّ).

$$E_c = 33W_c^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ lb/in}^2 \text{ (in USCS units - بالوحدات الأمريكية)}$$

$$E_c = 0.043W_c^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ MPa (in SI units - بالوحدات العالمية)}$$

ويمكن أن تُبسَّط هاتان العلاقتان من أجل بيتون ذي وزن طبيعي وكثافة طبيعية إلى:

$$E_c = 57,000\sqrt{f'_c} \text{ lb/in}^2 \text{ (in USCS units - بالوحدات الأمريكية)}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ MPa (in SI units - بالوحدات الدولية)}$$

حيث:

E_c = عامل مرونة البيتون، مقدراً بـ $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

f'_c = مقاومة الضغط المميزة للبيتون في اليوم 28، مقدرة بـ $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

Tensile Strength Of Concrete

مقاومة الشد للبيتون

تستخدم مقاومة شد البيتون في التصميم على الإجهاد المركب. ففي البيتون ذي الوزن الطبيعي والكثافة الطبيعية، يمكن أن يتم إيجاد مقاومة الشد من:

$$f_r = 7.5\sqrt{f'_c} \text{ lb/in}^2 \text{ (in USCS units) (بالوحدات الأمريكية)}$$

$$f_r = 0.7\sqrt{f'_c} \text{ MPa (in SI units - بالوحدات الدولية)}$$

Reinforcing Steel

فولاذ التسليح

تغطي مواصفات الجمعية الأمريكية للمواد والاختبارات (ASTM) فولاذ التسليح. إن أهم الخصائص التي يجب أن يتمتع بها فولاذ التسليح هي:

1. عامل المرونة E ، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

2. مقاومة الشد، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

3. نقطة إجهاد الخضوع f_y ، lb/in^2 (MPa).
4. المخطط البياني لمنحني انحدار (خضوع) الفولاذ (مقاومة الخضوع).
5. قياس أو قطر القضيب أو السلك.

الجيـزان المستمرة والبلاطات ذات الاتجاه الواحد

Continuous Beams And One-Way Slabs

يعطي كود الـ ACI صيغاً تقريبية لإيجاد القص وعزوم الانعطاف في الجيـزان المستمرة والبلاطات ذات الاتجاه الواحد. والقائمة الملخصة عن هذه الصيغ ستأتي فيما بعد. فهي قابلة للتطبيق على نحو متساوٍ في كل من نظامي الواحدات الدولية SI والواحدات الأميركية USCS. ارجع إلى كود الـ ACI للحصول على تطبيقات تُميز هذه الصيغ.

من أجل العزم الموجب

في نهايات المجاز

إذا كانت النهاية اللا مستمرة غير مقيدة $W_n^2/11$

إذا كانت النهاية اللا مستمرة متكاملة مع المسند $W_n^2/12$

في المجازات الداخلية $W_n^2/16$

من أجل العزم السالب

العزم السالب عند الوجه الخارجي لأول مسند داخلي

بمجازين $W_n^2/9$

أكثر من بمجازين $W_n^2/10$

العزم السالب عند الوجوه الأخرى للمساند الداخلية $W_n^2/11$

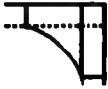
العزم السالب عند وجوه جميع المساند من أجل؛

(a) بلاطات بمحازات لا تتجاوز 10 أقدام (3 m). (b) جيزان وعوارض تتجاوز فيها

نسبة مجموع صلابة العمود إلى صلابة الجائز المقدار 8 عند كل نهاية للمحاز. $W_{ln}^2/12$

العزم السالب عند الوجوه الداخلية للمساند الخارجية من أجل

عناصر مبنية على شكل متكامل مع مساندها



عندما يكون المسند جائزاً مليء الزاوية أو عارضة ثقيلة $W_{ln}^2/24$

عندما يكون المسند عموداً $W_{ln}^2/16$

قوى القص

قوة القص في نهاية العناصر عند أول مسند داخلي $1.15 W_{ln}/2$

قوة القص عند جميع المساند الأخرى $W_{ln}/2$

ردود أفعال النهايات

يتم الحصول على ردود أفعال الجيزان أو الأعمدة أو الجدران بجمع قوى القص التي تفعل على طرفي المسند.

طرق تصميم الجيزان والأعمدة والعناصر الإنشائية الأخرى

Design Methods For Beams, Columns, And Other Members

هنالك عدد من الطرق المختلفة للتصميم مستخدمة في منشآت البيتون المسلح.

والطرق الثلاثة الأكثر شيوعاً هي: التصميم بإجهاد التشغيل - Working - stress design والتصميم بالمقاومة الحدية (القصوى) - Ultimate-strength design وطريقة التصميم بالمقاومة - strength design method. ويوجد لكل طريقة من هذه الطرق مؤيدنها وداعمها. ولا بد من استشارة الإصدار الأخير لكود الـ ACI من أجل التصميم الواقعية.

الجيزان

يمكن أن تُعتبر الجيزان البيتونية ذات ثلاثة أنواع أساسية:

(1) جيزان مستطيلة المقطع بتسليح شد فقط.

(2) جيزان T بتسليح شد فقط.

(3) جيزان بتسليح شد وضغط.

الجيزان المستطيلة بتسليح شد فقط

يتضمن هذا النوع من الجيزان البلاطات، حيث يكون من أجلها عرض الجائز b مساوياً إلى 12 إنش (305 mm) وذلك عندما يُعبر عن العزم والقص بالقدم (بالمتر) من العرض. وتكون الإجهادات في البيتون والفولاذ، باستخدام صيغ التصميم بإجهاد التشغيل، هي:

$$f_c = \frac{2M}{k_j b d^2} \quad f_s = \frac{M}{A_s j d} = \frac{M}{p j b d^2}$$

حيث: b = عرض الجائز [يساوي 12 إنش (304.8 mm) من أجل البلاطات]،
مقدراً بـ (mm) in.

d = العمق الفعال للجائز، مقاساً من الوجه المضغوط للجائز إلى مركز ثقل تسليح الشد (الشكل 5.1)، مقدراً بـ (mm) in.

M = عزم الانعطاف، مقدراً بـ $(K.Nm) lb.in$.

f_c = إجهاد الضغط في أبعد ليف من البيتون، مقدراً بـ $(MPa) lb/in^2$.

f_s = الإجهاد في فولاذ التسليح، مقدراً بـ $(MPa) lb/in^2$.

A_s = مساحة المقطع العرضي لفولاذ التسليح، مقدرة بـ $(mm^2) in^2$.

z = نسبة (مضاعفات) المسافة بين مركز ثقل الضغط ومركز ثقل الشد إلى العمق d .

k = نسبة (مضاعفات) عمق المنطقة (المساحة) المضغوطة إلى العمق d .

p = نسبة مساحة المقطع العرضي لتسليح الشد إلى مساحة الجائز (أي: $p = A_s/bd$)

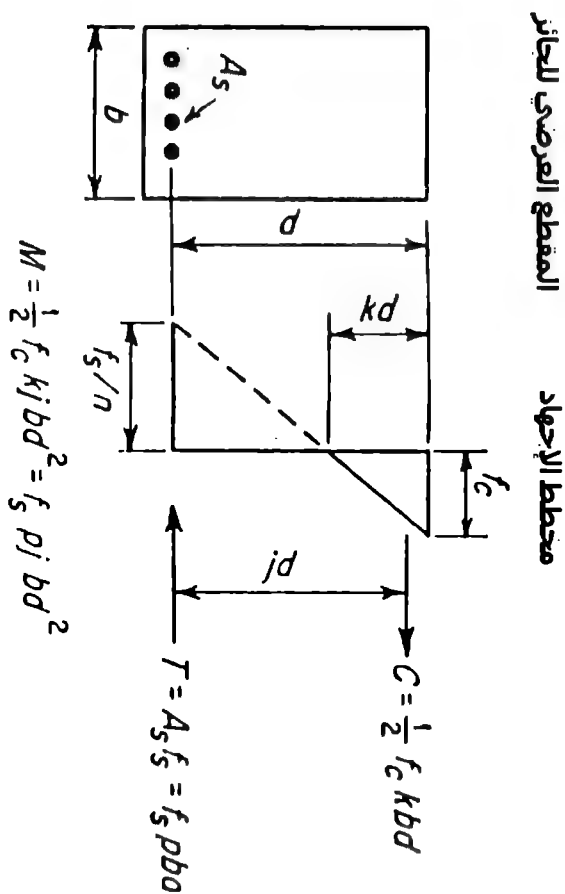
بالنسبة لأغراض التصميم التقريبية، يمكن أن تفرض z تساوي $7/8$ و k تساوي $1/3$.

كما ويمكن استخدام التوجيهات في الجدول 5.1 للعمق d للجائز البيتوني المسلح وذلك بالنسبة للمنشآت المتوسطة الحجم.

أما بالنسبة للتصميم المتوازن الذي تكون فيه مادتا البيتون والفولاذ مُجهدتين إلى حد الإجهاد الأعظمي المسموح، فيمكن عندئذٍ استخدام الصيغ التالية:

$$bd^2 = \frac{M}{K} \quad K = \frac{1}{2} f_c k j = p f_s j$$

لقد أعطيت قيم K و k و j و p ، بالنسبة للإجهادات المستخدمة على نطاق واسع، في الجدول 5.2.



الشكل 5.1 جائز ذو مقطع مستطيل بتسليح شد فقط.

الجدول 5.1 توجيهات على العمق d لجائز بيتوني مسلح*

العنصر	d
بلاطات الأسطح والأرضيات	1/25
جيزان خفيفة	1/15
جيزان وعوارض ثقيلة	1/12 - 1/10

* 1 هو مجاز الجائز أو البلاطة بالإنشات (بالمليمترات). عرض الجائز يجب أن يكون 1/32 على الأقل

الجيزان T بتسليح شد فقط

عندما يتم صب أو إنشاء البلاطة على نحو متماسك مع الجيزان البيتونية الداعمة، يعمل جزء من البلاطة مثل عمل الشفة العلوية (الجناح أو الفلنجة) للجائز T. ويجب ألا يتجاوز عرض الشفة العلوية الفعال: (1) ربع مجاز الجائز، (2) عرض جسد من الجائز T زائد 16 مرة ثخانة البلاطة، (3) المسافة من المركز إلى المركز بين جائزين. أما في الجيزان T حيث لا تكون الشفة العلوية جزءاً من البلاطة، فيجب أن تكون لها ثخانة شفة لا تقل عن نصف عرض الجسد وعرض شفة لا يزيد عن أربع مرات من عرض الجسد. فمن أجل التصميم الأولية، يمكن استخدام تلك الصيغ التي سبق سردها من أجل الجيزان المستطيلة بتسليح شد فقط، لأن المحور المحايد يكون عادةً ضمن أو قرب الشفة. وتكون عادة مساحة تسليح الشد حرجة.

الجدول 5.2 الأمثال العددية K، k، j، p للمقاطع المستطيلة

p	j	k	K	f _s	n	f' _s
0.0129	0.847	0.458	175	900	15	2000
0.0161	0.847	0.458	218	1125	12	2500
0.0193	0.847	0.458	262	1350	10	3000
0.0244	0.847	0.460	331	1700	8	3750

$$f_s = 16,000 \text{ lb/in}^2 (110 \text{ MPa})$$

الجيزان بتسليح شد وضغط

تُستخدم جيزان التسليح المضغوط عادةً عندما تكون أبعاد الجائز محدودة. فأبعاد الجائز المقبولة قد استخدمت في الصيغ المعطاة سابقاً لتعيين العزم الذي يستطيع تحمله الجائز بدون تسليح ضغط. إذن، فمتطلبات التسليح يمكن أن تُعَيَّن بصورة تقريبية من:

$$A_s = \frac{8M}{7f_s d} \quad A_{sc} = \frac{M - M'}{nf_c d}$$

حيث:

A_s = المساحة الإجمالية لتسليح الشد، (mm^2) in².

A_{sc} = مساحة تسليح الضغط، (mm^2) in².

M' = عزم الانعطاف الإجمالي، $(K. Nm)$ lb.in.

M = عزم الانعطاف الذي سيتحمله الجائز لتصميم متوازن وله نفس أبعاد تسليح الشد فقط، $(K. Nm)$ lb.in.

n = نسبة (مضاعفات) عامل مرونة الفولاذ إلى عامل مرونة البتوتون.

فحص الإجهادات في الجيزان

الجيزان المصممة باستخدام الصيغ التقريبية السابقة لابد وأن تُفحص للتأكد من أن الإجهادات الفعلية لا تتجاوز الإجهاد المسموح وللتأكد أيضاً من أن فولاذ التسليح ليس مفرطاً. يمكن أن يتم هذا عن طريق تعيين عزم عطالة الجائز. ففي هذا التعيين، يجب ألا يُعتبر الفولاذ أسفل المحور المحايد متعرضاً للإجهاد، في حين يجب أن يتم تحويل فولاذ التسليح إلى مقطع بيتوني مكافئ. فمن أجل تسليح الشد، يتم هذا التحويل عن طريق جداء المساحة A_s بـ n ، n هي نسبة (مضاعفات) عامل مرونة الفولاذ إلى عامل مرونة البتوتون.

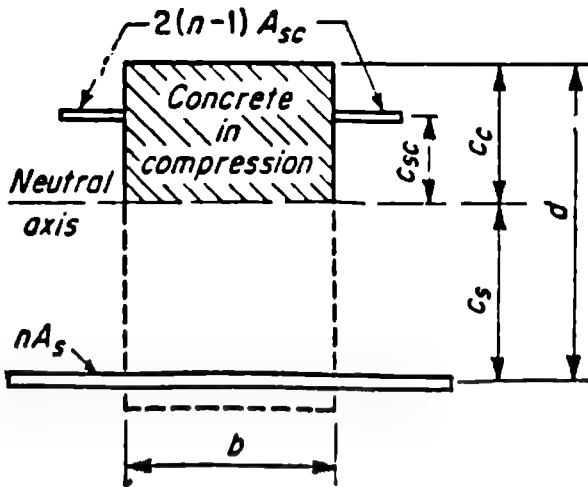
ومن أجل تسليح الضغط، تُضرب المساحة A_{sc} بـ $(n - 1)$. يتضمن هذا العامل تسامحات استبدال البيتون في حالة الانضغاط بفولاذ مضغوط وتسامحات الجريان اللدن للبيتون. إذن، يتم تحديد مكان المحور المحايد بحل المعادلة:

$$\frac{1}{2} b c_c^2 + 2(n-1) A_{sc} C_{sc} = n A_s C_s$$

بالنسبة للمجاهيل C_c و C_{sc} و C_s انظر الشكل 5.2.

ويكون عزم عطالة مقطع الجائز المحوّل هو:

$$I = \frac{1}{3} b C_c^3 + 2(n-1) A_{sc} C_{sc}^2 + n A_s C_s^2$$



الشكل 5.2 مقطع جائز بيتوني مُحوّل.

وتكون الإجهادات:

$$f_c = \frac{M C_c}{I} \quad f_{sc} = \frac{2n M C_{sc}}{I} \quad f_s = \frac{n M C_s}{I}$$

حيث:

f_c, f_{cs}, f_s = إجهادات الواحدة الفعلية، في أبعد ليف من البيتون وفي فولاذ تسليح الضغط وفي فولاذ تسليح الشد، على التوالي، مقدرة بـ MPa lb/in^2 .

C_c, C_{cs}, C_s = المسافات من المحور المحايد، إلى وجه البيتون وإلى فولاذ التسليح المضغوط وإلى فولاذ تسليح الشد، على التوالي، مقدرة بـ mm in .

I = عزم عطالة مقطع الجائز المحوّل، مقدراً بـ mm^4 in^4 .

b = عرض الجائز، مقدراً بـ mm in .

A_s و A_{sc} و M و n عُرِّفَتْ سابقاً في هذا الفصل.

القصر والشد القطري في الجيزان.

إن واحدة إجهاد القصر، كقياس للشد القطري، في جائز بيتوني مسلح هي:

$$v = \frac{V}{bd}$$

حيث:

v = واحدة إجهاد القصر، MPa lb/in^2 .

V = القصر الإجمالي، N lb .

b = عرض الجائز (بالنسبة للجائز T استخدم عرض الجسد، mm in).

d = العمق الفعّال للجائز.

في حال كانت قيمة إجهاد القصر، المحسوبة سابقاً، تتجاوز واحدة إجهاد القصر المسموح وفق ما هي معينة من قبل كود الـ ACI ، عندئذٍ لابد من تزويد الجسد بالتسليح.

ويتألف مثل هذا التسليح عادةً من الأساور (أثاري). وتكون مساحة المقطع العرضي، الذي يتطلب إسورة متوضعة بالتعاقد مع التسليح الطولاني، هي:

$$A_v = \frac{(V - V')s}{f_{jd}}$$

حيث:

A_v = مساحة المقطع العرضي لتسليح الجسد بالمسافة s (س) مقاسة بالاتجاه الموازي للتسليح الطولاني) مقدرة بـ $(\text{mm}^2) \text{ in}^2$.

f_v = واحدة الإجهاد المسموحة في تسليح الجسد، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

V = القص الإجمالي، $(\text{N}) \text{ lb}$.

V' = القص الذي يستطيع البيوتن لوحده فقط أن يتحمله $(V' = v_c bd)$.

s = تباعد الأساور بالاتجاه الموازي للتسليح الطولاني، $(\text{mm}) \text{ in}$.

d = العمق الفعال، $(\text{mm}) \text{ in}$.

يجب أن تتباعد الأساور بحيث يتم اعتراض كل خط ممتد بزاوية 45° ، بدءاً من منتصف الجائر إلى قضبان تسليح الشد الطولانية، بإسورة واحدة على الأقل.

وفي حال كان إجهاد واحدة القص أكبر من $3\sqrt{f'_c}$ ، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$ ، عندها لابد من اعتراض كل خط من هذه الخطوط بإسورتين على الأقل.

يجب ألا يتجاوز إجهاد القص في أي مقطع المقدار $5\sqrt{f'_c}$ ، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

ربط وإرساء قضبان التسليح.

الجزان التي يكون فيها تسليح الشد موازياً لوجه الضغط، يكون إجهاد الربط المؤثر على القضبان:

$$u = \frac{V}{jd\Sigma_o}$$

حيث:

u = إجهاد الربط المؤثر على سطح القضيب، (MPa) lb/in².

V = القص الإجمالي، (N) lb.

d = العمق الفعّال للحاظر، (mm) in.

Σ_o = مجموع أطوال محيطات قضبان تسليح الشد، (mm) in.

ومن أجل التصميم الأولي، يمكن أن يتم فرض النسبة z مساوية لـ 7/8.

قد لا تتجاوز إجهادات الربط القيم المُبيّنة في الجدول 5.3.

الأعمدة

لا بد أن يكون للأعمدة الأساسية في المنشأة قطر أصغري يساوي 10 (255 mm) in أو ثخانة أصغرية تساوي 8 (203 mm) in بالنسبة للأعمدة المستطيلة ومساحة إجمالية للمقطع العرضي تساوي لـ 96 in² (61,935 mm²).

يكون للأعمدة القصيرة، المزودة بتسليح حلزوني ذي تباعدات متقاربة ويُغلف النواة البيتونية الدائرية المسلحة بقضبان شاقولية، حمولة مسموحة أعظمية هي:

$$P = A_g (0.25 f'_c + f_s P_g)$$

حيث:

P = الحمولة المحورية المسموحة الإجمالية، (N) lb.

A_g = مساحة المقطع العرضي الإجمالية للعمود، (mm²) in².

f'_c = مقاومة ضغط البتّون، (MPa) lb/in².

الجدول 5.3 إجهادات الربط المسموحة

قضبان أخرى**	قضبان أفقية مع طبقة تيزية مصبوبة أسفل القضبان تزيد عن 12 إنش (30.5 mm)	قضبان شد بخافيس وتنشوهات متوافقة مع ASTM A305
أيهما أقل $\frac{4.8\sqrt{f'_c}}{D}$ or 500.	أيهما أقل $\frac{3.4\sqrt{f'_c}}{D}$ or 350.	قضبان شد بخافيس وتنشوهات متوافقة مع ASTM A408
$3\sqrt{f'_c}$	$2.1\sqrt{f'_c}$	قضبان ضغط مشروحة مع ASTM A408
أيهما أقل $6.5\sqrt{f'_c}$ or 400.	أيهما أقل $6.5\sqrt{f'_c}$ or 400.	قضبان ضغط متوسطة
أيهما أقل $2.4\sqrt{f'_c}$ or 160.	أيهما أقل $1.7\sqrt{f'_c}$ or 160.	قضبان عادية بسيطة

* $1\text{lb}/\text{in}^2 (\times 0.006895 = \text{MPa})$.** f'_c : مقاومة ضغط البتون (MPa); D = القطر الاسمي (الاختياري) للفضيب (in (mm)

f_c = الإجهاد المسموح في التسليح الشاقولي للبيتون، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$ ، ويساوي إلى 40 % من مقاومة الخضوع الأصغرية، إلا أنه لا يتجاوز $30,000 \text{ lb/in}^2$ (207 MPa)

P_g = نسبة مساحة التسليح الشاقولي الفولاذي إلى المساحة الإجمالية للعمود Ag.

يجب ألا تقل النسبة P_g عن 0.01 ولا تزيد عن 0.08.

العدد الأصغري من القضبان المستخدمة يساوي 6، والقياس الأصغري هو No.5.

التسليح الحلزوني المستخدم في العمود المسلح حلزونياً هو:

$$p_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$$

حيث:

p_s = نسبة الحجم الحلزوني (الاسطوانة التي يحددها الفولاذ الحلزوني) إلى حجم النواة (المحاطة بالحلزون) البيتونية (قطر الاسطوانة الحلزونية من خارج إلى خارج الحلزون).

A_c = مساحة المقطع العرضي للنواة البيتونية (من خارج إلى خارج الحلزون)، $(\text{mm}^2) \text{ in}^2$.

f_y = إجهاد الخضوع للتسليح الحلزوني، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$ ، ولا يتجاوز $60,000 \text{ lb/in}^2$ (413 MPa)

يجب ألا يتجاوز التباعد من المركز إلى المركز في الدورانات الحلزونية سدس قطر النواة البيتونية. ويجب ألا يتجاوز التباعد الداخلي (النظيف) بين الدورانات الحلزونية سدس قطر النواة أو 3 إنش (76 mm)، ويجب ألا يقل عن 1.375 إنش (35 mm) أو 1.5 مرة من الحجم الأعظمي للمواد الحبيبة المستخدمة في الخلطة البيتونية.

الأعمدة القصيرة المزودة بأربطة (اتاري)

الحمولة المسموحة الأعظمية، على الأعمدة القصيرة المسلحة بقضبان طولانية وبأربطة جانبية منفصلة، تساوي % 85 من تلك الحملات المعطاة سابقاً بالعائدة للأعمدة المسلحة حلزونياً. يجب ألا تقل النسبة p_g ، بالنسبة للأعمدة المربوطة جانبياً، عن 0.01 أو لا تزيد عن 0.08. ويجب أن يتألف التسليح الطولاني من أربعة قضبان على الأقل، قياسها الأصغري هو No.5.

الأعمدة الطويلة

لا بد من تعديل الحملات المسموحة على الأعمدة، حيث يكون الضغط متحكماً بالتصميم، بالنسبة لطول العمود وفق ما يلي:

1. في حال كانت نهايتا العمود موثوقيتين، بحيث تحدث نقطة الرد الانثنائي (الانشاء العكسي) فيما بين النهايتين، عندها لا بد من تقسيم الحملات المحورية والعزوم المطبقة على R (R لا يمكنها أن تتجاوز 1.0) المأخوذة من العلاقة:

$$R = 1.32 - \frac{0.006h}{r}$$

2. وفي حال كانت الإزاحة الجانبية النسبية لنهايات الأعمدة مُعاقبة وكان العنصر منحنيًا بانحناء واحد، فلا بد عندها من تقسيم، الحملات المحورية والعزوم المطبقة، على R (R لا يمكنها تجاوز 1.0) المأخوذة من:

$$R = 1.07 - \frac{0.008h}{r}$$

حيث:

h = الطول اللا مسنود من العمود، in (mm).

1 = نصف قطر دوران المساحة الإجمالية للبيتون، in (mm) ويساوي 0.30 مرة من العمق للعمود المستطيل، ويساوي 0.25 مرة من قطر العمود الدائري.

R = عامل تخفيض حمولة العمود الطويل.

أمّا عندما يكون الشد متحكماً بالتصميم فلا بد من تعديل الحمولة المحورية والعزم المطبقين وذلك بطريقة مشابهة لما سبق، ماعدا R التي تتغير خطياً مع الحمولة المحورية بدءاً من القيم المعطاة عند شرط التوازن.

الضغط والانعطاف المركب

إن مقاومة العمود المتناظر يتم التحكم بها من قبل الضغط إذا كان للحمولة المحورية المكافئة N لا مركزية e في كلا الاتجاهين الرئيسيين ولا تزيد عما هو معطى في المعادلتين الآتيتين، ويتحكم الشد بمقاومة العمود إذا ما تجاوزت e هذه القيم (في المعادلتين الآتيتين) في أحد الاتجاهين الرئيسيين:

من أجل الأعمدة الخلزونية:

$$e_b = 0.43 p_g m D_s + 0.14 t$$

من أجل الأعمدة المربوطة جانبياً (أثاري):

$$e_b = (0.67 p_g m + 0.17) d$$

حيث:

e = اللا مركزية، in (mm).

e_b = اللا مركزية المسموحة الأعظمية، in (mm).

N = الحمولة اللا مركزية الناعمية على المقطع العرضي للعمود، (N).

p_g = نسبة مساحة التسليح الشاقولي على المساحة الإجمالية للبيتون.

$$m = f'_c / 0.85 f_y$$

D_s = قطر الدائرة المارة من مراكز قضبان التسليح الطولية، in (mm).

t = قطر العمود أو العمق الكلي للعمود، in (mm).

d = المسافة من أبعد ليف مضغوط إلى مركز ثقل تسليح الشد، in (mm).

f_y = نقطة خضوع فولاذ التسليح، lb/in^2 (MPa).

يعتمد تصميم الأعمدة التي يتحكم بها الضغط على المعادلات الآتية - ماعدا الحالة التي يمكن ألا تتجاوز فيها الحمولة المسموحة N الحمولة المسموحة P المعطاة سابقاً - المقبولة في حالة كون الأعمدة تحمل حمولة محورية فقط:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_b} + \frac{f_{by}}{F_b} \leq 1.0$$

حيث:

f_a = الحمولة المحورية مقسومة على مساحة البتونات الإجمالية، lb/in^2 (MPa).

f_{bx} ، f_{by} = عزما الانعطاف حول المحور x والمحور y ، مقسومان على معامل المقطع للمقطع المحوّل المقابل وغير المتشقق (غير المتصدّع)، lb/in^2 (MPa).

F_b = إجهاد الانعطاف المقبول والمسموح من أجل حالة الانعطاف لوحده، lb/in^2 (MPa).

$$F_a = f'_c (m p_g + 1) 0.34$$

حمولة الانعطاف المسموحة على الأعمدة التي يتحكم بها الشد تتغير خطياً مع الحمولة المحورية من M_n عندما يكون المقطع في حالة انعطاف بحت إلى M_b عندما تكون الحمولة المحورية N_b .

فمن أجل الأعمدة الحلزونية:

$$M_n = 0.12 A_s f_y D_s$$

ومن أجل الأعمدة المربوطة بالأساور:

$$M_o = 0.40 A_s f_y (d - d')$$

حيث:

A_s = المساحة الإجمالية للتسليح الطولي، in^2 (mm^2).

f_y = مقاومة الخضوع للتسليح، lb/in^2 (MPa).

D_c = قطر الدائرة المارة من مراكز قضبان التسليح الطولية، in (mm).

A_s = مساحة تسليح الشد، in^2 (mm^2).

d = المسافة من أبعد ليف مضغوط إلى مركز ثقل تسليح الشد، in (mm).

M_h و N_h الحمولة المحورية وعزم الانعطاف عند الشرط المتوازن (يعني: عندما تساوي اللاتركيزية e إلى e_b كما هو محدد سابقاً). عند هذا الشرط يجب أن يتم تعيين M_h و N_h من:

$$M_h = N_h e_b$$

وعندما يكون الانعطاف حول محورين:

$$\frac{M_x}{M_{ox}} + \frac{M_y}{M_{oy}} \leq 1$$

حيث: M_x و M_y عزما الانعطاف حول المحورين x و y ، و M_{ox} و M_{oy} قيمتا M_o الانعطاف حول هذين المحورين.

خصائص البيتون في الحالة المقساة

Properties In The Hardened State

المقاومة هي خاصية البيتون التي تشكل في معظم الأحيان محط أنظار الجميع.

وتُحدّد عادةً بالمقاومة الحدية لعينة نموذجية في حالة الضغط، إلا أنه تكون، في بعض الأوقات، السعة المرونية (قدرة التحمل على الانحناء والعودة إلى الحالة الأولية) أو السعة الشدية، هي المعيار. ولأن البيتون يكتسب المقاومة عادةً على امتداد فترة زمنية طويلة، فتكون مقاومة الضغط عند اليوم 28 هي المستخدمة عموماً كقياس لهذه الخاصية.

يمكن أن تُقدّر مقاومة انضغاط البيتون في اليوم 28 من مقاومته في اليوم 7 عن طريق صيغة مقترحة من قبل سلاتر - W.A.Slater :

$$S_{28} = S_7 + 30\sqrt{S_7}$$

حيث :

S_{28} = مقاومة الانضغاط 28 - يوم، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$

S_7 = مقاومة الانضغاط 7 - يوم $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

قد تزايد مقاومة البيتون على نحو لافت للانتباه بعد 28 يوماً، وخصوصاً عندما يتم خلط الإسمنت بالرماد المتطاير. لذا تكون مواصفات المقاومتين في اليومين 56 أو 90 هي الملائمة للتصميم.

تتأثر مقاومة البيتون بصورة أساسية بنسبة الماء/الإسمنت: فاعلى قيمة هذه النسبة تقابل أخفض قيمة للمقاومة. وبصورة تقريبية تكون هذه العلاقة المتبادلة خطية عندما يتم التعبير عنها باستخدام المتحول C/W ، نسبة الإسمنت إلى الماء بالوزن. فمن أجل خلطة جيدة عملياً، بدون استخدام ماء يخفّض من مواصفات الخلطة، لدينا

$$S_{28} = 2700 \frac{C}{W} - 760$$

إن مقاومة الشد للبيتون أقل بكثير من مقاومته على الضغط، ويكون لها عادةً صلة ضعيفة مع f_c بغض النظر عن نوعيات التحارب المستخدمة. وكما هو مُحدّد في

التجارب المرونية تكون مقاومة الشد (عامل التمزق أو الانقطاع - وليس المقاومة الحقيقية) حوالي $7\sqrt{f'_c}$ بالنسبة للمواد البيتونية العالية المقاومة و $10\sqrt{f'_c}$ بالنسبة للمواد البيتونية المنخفضة المقاومة.

ويكون معامل المرونة E_c ، المستخدم عادة في تصميم البيتون، هو المعامل القاطع أو الخط القاطع (راجع منحني المرونة).

وقد تمّ تعيينه في الصفحة 318 من الـ ACI تحت عنوان "متطلبات كود البناء الخاصة بالبيتون المسلح" وفق العلاقة؛

$$E_c = w^{1.5} 33\sqrt{f'_c}$$

حيث:

w = كثافة البيتون، lb/ft³ (kg/m³)

f'_c = مقاومة الضغط المميزة (النوعية) في اليوم 28، lb/in² (MPa).

بالنسبة للبيتون عادي الكثافة، $w = 145$ lb/ft³ (kg/m³)

$$E_c = 57,000\sqrt{f'_c}$$

وتتزايد قيمة معامل المرونة مع الزمن كما هو الحال بالنسبة للمقاومة.

طول إرساء قضبان الشد Tension Development Lengths

يتم تعريف الزيادة الأساسية للطول بالنسبة للقضبان والأسلاك المشدودة وفق المعادلة الآتية الخاصة بالقضبان No.11 والقضبان الأصغر:

$$l_d = \frac{0.04 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

حيث:

$$A_b = \text{مساحة القضيب، } \text{in}^2 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

$$f_y = \text{مقاومة الخضوع للقضيب الفولاذي، } \text{lb/in}^2 \text{ (MPa)}.$$

$$f'_c = \text{مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28، } \text{lb/in}^2 \text{ (MPa)}.$$

ومهما يكن، يجب ألا تقل l_d عن 12 إنش (304.8 mm)، باستثناء حسابات الجداول الملفوفة أو القطع المرسوة داخل أي مكان مثبت لها.

ومن أجل القضبان No.14:

$$l_d = 0.085 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

ومن أجل القضبان No.18:

$$l_d = 0.125 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

ومن أجل الأسلاك المشوّهة:

$$l_d = 0.03d_b \frac{f_y - 20,000}{\sqrt{f'_c}} \geq 0.02 \frac{A_w}{S_w} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

حيث:

A_w هي المساحة، $\text{in}^2 \text{ (mm}^2\text{)}$. و S_w هي التباعد، in (mm) ، للسلك المتزايد بالطول. وباستثناء الحسابات للجداول الملفوفة أو حسابات زيادة طول قطع التسليح المرسوة، يتوجب على l_d ألا تقل عن 12 إنش (304.8 mm).

أطوال إرساء قضبان الضغط

Compression Development Lengths

يُعرف التزايد الأساسي للطول l_d ، بالنسبة للقضبان المضغوطة، كما يلي:

$$l_d = \frac{0.02 f_y d_b}{\sqrt{f'_c}} \geq 0.003 d_b f_y$$

وبشرط ألا تقل l_d عن 8 إنش (20.3 cm) أو عن $0.0003 f_y d_b$

التحكم بتشققات العناصر المرنة

Crack Control Of Flexural Members

بسبب المخاطرة الناتجة عن التشققات الكبيرة التي تبدأ بالتزايد حالما يخضع التسليح إلى إجهادات عالية، يوصي كود الـ ACI بأن التصميم المعتمدة على مقاومة خضوع الفولاذ f_y يجب ألا تزيد عن 80 Ksi (551.6 MPa). وعندما يكون التصميم معتمداً على مقاومة خضوع f_y أكبر من 40 Ksi (275.8 MPa)، فيجب على مساحات المقاطع العرضية التي تتعرض لعزم موجب وسالب أعظمين أن تكون متناسبة فيما بينها لضبط فتحة الشق بحيث تكون الحدود المميز (للنسبة) محققة بالعلاقة:

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

حيث:

f_s = الإجهاد المحسوب، Ksi (MPa)، في التسليح تحت تأثير حمولات الخدمة.

d_c = ثخانة الغطاء البيتوني، in (mm)، مقاساً من أبعد سطح مشدود إلى مركز القضيب الأقرب إلى ذلك السطح المشدود.

$A =$ مساحة الشد الفعالة للبيتون، in^2 (mm)، بالقضيب.

وهذه المساحة يجب أن تؤخذ وكأنها المساحة المحيطة بتسليح الشد الرئيسي ولها مركز ثقل التسليح، مضروبة بنسبة مساحة أكبر قضيب مستخدم إلى المساحة الإجمالية لتسليح الشد.

وهذه الحدود هي $z \geq 175 \text{ Kip/in}$ (30.6 KN/mm) من أجل الشقوق المعرضة للدخل و $z \geq 145 \text{ Kip/in}$ (25.3 KN/mm) من أجل الشقوق المعرضة للخارج. وهذه القيم تقابل عرض شقوق مُحَدَّدة بـ 0.016 إلى 0.013 إنش (0.406 إلى 0.33 mm)، على التوالي، عند حافة شد قصوى تحت تأثير حمولات الخدمة. في معادلة z ، يجب أن تُحسب f_c بتقسيم عزم الانعطاف على جداء مساحة الفولاذ بذراع العزم الداخلي، كما يمكن أن تؤخذ f_c كنسبة مئوية تساوي إلى 60 % من مقاومة خضوع الفولاذ بدون أي عملية حسابية.

Required Strength

المقاومة المطلوبة

يتطلب كود الـ ACI، من أجل جملة مركبة من الحمولات، أن يكون للمنشأ وعناصره المقاومات الحدية التالية (السعات الحملية للتصدي لحمولات التصميم وعزومها الداخلية وقواها المتعلقة بها):

بدون تطبيق حمولات الزلازل والرياح:

$$U = 1.4 D + 1.7 L$$

حيث:

D = تأثير الحمولة الأساسية المؤلفة من الحمولة الميتة زائد حجم التغير (درجة الحرارة، درجة التقلص).

L = تأثير الحمولة الحية زائد الرص.

وعندما يتم تطبيق حملات الرياح، فإن أكبر قيمة للمعادلة السابقة والمعادلتين التاليتين تحدد المقاومة المطلوبة:

$$U = 0.75 (1.4 D + 1.7 L + 1.7 W)$$

$$U = 0.9 D + 1.3 W$$

حيث؛

$$W = \text{تأثير حمولة الرياح.}$$

إذا كان من الممكن أن يخضع المنشأ إلى قوى زلزالية E، فعندها عليك أن تستبدل W بـ 1.1 E في المعادلة الأخيرة.

وفي حال كانت تأثيرات (إجهادات) التوطيد التفاضلي (الغوص بسويات مختلفة للأساسات) أو الزحف أو التفصل (الانكماش) أو تغير درجات الحرارة حرجة على المنشأة، فلا بد من إدخالها مع الحمولة الميتة D، والمقاومة يجب أن تساوي على الأقل إلى:

$$U = 0.75 (1.4 D + 1.7 L) \geq 1.4 (D + T)$$

حيث:

T = التأثيرات المتراكمة لدرجة الحرارة والزحف والانكماش والتوطيد التفاضلي (مناسيب مختلفة للقواعد).

حساب التشوهات والمعايير الخاصة بالجيزان البيتونية

Deflection Computation And Criteria For Concrete Beams

إن فرضيات نظرية إجهادات التشغيل يمكن أن تستخدم أيضاً لحساب التشوهات تحت تأثير حملات الخدمة؛ بمعنى أنه يمكن استخدام صيغ التشوهات العائدة لنظرية المرونة في الجيزان البيتونية المسلحة. في هذه الصيغ، يُعطى عزم العطالة الفعّال I_e بـ:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g$$

حيث:

I_g = عزم عطالة المقطع البيتوني بمجمله.

M_{cr} = عزم الانكسار.

M_a = العزم الذي يكون من أجله التشوّه محسوباً.

I_{cr} = عزم عطالة المقطع (المحوّل) البيتوني المنكسر.

إذا ما اعتبرت y_t المسافة من المحور المركزي (المار بمركز الثقل) للمقطع الإجمالي، بغض الطرف عن التسليح، إلى أبعد سطح في حالة الشد، فعندها يمكن أن يُحسب عزم الانكسار من:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

بمعامل تمزّق للبيتون $f_r = 7.5 \sqrt{f'_c}$.

وعليه، فإن التشوهات المحسوبة بهذه الطريقة هي تلك التشوهات المفترض أن تحدث مباشرة فور تطبيق الحمولة. أما التشوهات الإضافية مع مرور الزمن فيمكن أن تُقدّر بجداء التشوّه المباشر — 2 عندما لا يوجد تسليح ضغط أو — $(2 - 1.2 A'_s/A_s) \leq 0.6$ ، حيث A'_s مساحة تسليح الضغط و A_s مساحة تسليح الشد.

التصميم بالمقاومة الحديدية للجيزان المستطيلة المزودة بتسليح شد فقط

Ultimate - Strength Design Of Rectangular Beams With Tension Reinforcement Only

نُمثل مساحة تسليح الشد A_s في جائر من البيتون المسلح، عموماً، بالنسبة التالية:
 $\rho = A_s/bd$ ، حيث b عرض الجائر و d المسافة من أبعد سطح ضغط إلى مركز ثقل تسليح الشد. وعند المقاومة الحديدية، يكون الفولاذ في المقطع الحرج للجائر قد وصل إلى مقاومة خضوعه f_y إذا لم يفشل البيتون في التصدي للضغط أولاً.

وبالتالي سيكون الشد الإجمالي في الفولاذ: $A_s f_y = \rho f_y b d$.

وتتم مواجهته بقوة ضاغطة مساوية له:

$$0.85 f_c b a = 0.85 f_c b \beta_1 c$$

حيث:

f_c' = مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28، (MPa) Ksi.

a = عمق المقطع المستطيل المكافئ الموزع عليه الإجهاد.

c = المسافة من أبعد سطح ضغط إلى المحور المحايد.

β_1 = ثابت.

ومساواة الضغط مع الشد في المقطع الحرج ينتج:

$$c = \frac{\rho f_y}{0.85 \beta_1 f_c'} d$$

إن معيار الانهيار بالضغط هو أن يكون الانفعال الأعظمي في البيتون مساوياً لـ 0.003 إنش/إنش (0.076 mm/mm). وفي تلك الحالة يكون،

$$c = \frac{0.003}{f_s / E_s + 0.003} d$$

حيث:

f_s = إجهاد الفولاذ، Ksi (MPa).

E_s = معامل مرونة الفولاذ = 29,000 Ksi (199.9 GPa).

التسليح المتوازن

يصل البيتون إلى انفعاله الأعظمي 0.003، تحت شروط التوازن، عندما يصل الفولاذ إلى مقاومة خضوعه f_y . يُعَيَّن هذا نسبة (أمثال مضاعفة) الفولاذ الخاصة بشروط التوازن:

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \frac{87,000}{87,000 + f_y}$$

السعة العزمية

تكون سعة عزم الانعطاف للمقاومة الحديدية (العزم الذي تستطيع أن تتحمله المقاومة الحديدية) بما يخص الجيزان المسلحة من الأسفل هي:

$$M_u = 0.90 [b d^2 f'_c \omega (1 - 0.59\omega)]$$

$$= 0.90 \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \right]$$

$$\text{حيث: } \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c} = a \text{ و } \frac{\rho f_y}{f'_c} = \omega$$

تسليح القص

تساوي سعة القص الحديدية V_n لمقطع ما من الجائز إلى مجموع مقاومة القص الاسمية للبيتون V_c ومقاومة القص الاسمية المزودة بالتسليح V_s ؛ بمعنى، $V_n = V_c + V_s$. ويجب ألا تتجاوز قوة القص المُحلَّلة (إلى مركبات) V_u في المقطع القيمة:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

حيث: ϕ = عامل تخفيض السعة (0.85 من أجل القص والشد).

وباستثناء حالة الجيزان المزودة بالأكثاف والجيزان الظفرية القصيرة الأخرى، يمكن أن يؤخذ مقطع القص الأعظمي على مسافة تساوي إلى d من وجه المسند.

يجب ألا يتجاوز القص الذي يعبأ به البيتون لوحده القيمة $2\sqrt{f'_c} b_w d$ ، حيث b_w عرض جسد الجائز و d عمق مركز ثقل التسليح. [(أو كحل بديل، يُمكن أن تؤخذ القيمة العظمى لـ V_c كالتالي:

$$V_c = \left(1.9\sqrt{f'_c} + 2500\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \leq 3.5\sqrt{f'_c} b_w d$$

حيث: $\rho_w = \frac{A_s}{b_w d} = \rho_w$ و V_u و M_u هما القص وعزم الانعطاف في المقطع المعبر، و M_u يجب ألا تقل عن $[V_u d]$.

عندما تكون V_u أكبر من V_c ، فعلى القص الزائد أن يُقاوم بتسليح الجسد.

مساحة الفولاذ المطلوبة في الأنماذج الشاقولية، مقدرة بـ in^2 (mm^2)، بالإسوار الواحدة، وبتباعد S ، مقدراً بـ in (mm)، هي:

$$A_v = \frac{V_u S}{f_y d}$$

حيث:

f_y = مقاومة خضوع تسليح القص.

A_v = هي مساحة الأساور مقطوعة بالمستوي الأفقي.

V_u يجب ألا تتجاوز $8\sqrt{f'_c} b_w d$ في المقاطع المزودة بتسليح الجسد و f_y يجب ألا تتجاوز 60 Ksi (413.7 MPa).

عندما يكون تسليح القص مطلوباً ومتوضعاً بشكل متعامد مع محور العنصر، فيجب ألا يزيد التباعد عن $0.5 d$ أو عن 24 إنش (609.6 mm) من c إلى c (من إسورة إلى أخرى). وعندما تتجاوز V_u المقدار $4\sqrt{f'_c}b_wd$ لابد أن يكون التباعد الأعظمي محددًا بـ $0.25 d$ في جميع الأحوال.

والإمكانية البديلة لما سبق، في التصميم العملي، يتحدد تباعد الإسورة s ، من أجل قص التصميم V_u ومساحة الإسورة A_v والخصائص الهندسية للعنصر b_w ، d ، من:

$$s = \frac{A_v \phi f_y d}{V_u - 2\phi \sqrt{f'_c} b_w d}$$

وتكون المساحة المطلوبة، عندما يتم ثني قضيب واحد أو جملة من القضبان المتوازية نحو الأعلى وعلى مسافة متساوية من المسند وبزاوية α مع المحور الطولي للعنصر، هي:

$$A_v = \frac{V_s}{f_y \sin \alpha}$$

والتي يجب ألا تتجاوز فيها V_u المقدار $3\sqrt{f'_c}b_wd$.

A_v هي المساحة المقطوعة بالمستوي الناطمي على محور القضبان.

وتكون المساحة المطلوبة، عندما تكون سلسلة من هذه القضبان مشنية نحو الأعلى عند مسافات مختلفة من المسند أو عندما تستخدم أساور مائلة، هي:

$$A_v \frac{V_s S}{(\sin \alpha + \cos \alpha) f_y d}$$

إن مساحة أصغرية من تسليح القص تكون مطلوبة في جميع العناصر الإنشائية، باستثناء البلاطات والأساسات والعوارض النحيفة أو عندما تكون V_u أصغر من $0.5 V_c$.

إرساء تسليح الشد

لا بد أن يمتد، ثلث تسليح العزم الموجب في الجيزان البسيطة وربع تسليح العزم الموجب في الجيزان المستمرة على الأقل، على امتداد وجه العنصر إلى المسند في كلا الحالتين بـ 6 إنشات (152.4 mm) كحد أدنى إلى داخل المسند.

إن قطر قضبان التسليح، عند المساند البسيطة وفي نقاط الانعطاف (نقاط تغير جهة المنحني)، يجب أن يكون مُحددًا بقطر يتحقق عنده طول الامتداد الإضافي (طول الإرساء) l_a

$$l_d = \frac{M_n}{V_u} + l_a$$

حيث:

M_n = عزم المقاومة المرونية المحسوبة بأخذ جميع فولاذ التسليح في المقطع المُجهَد إلى الجهد f_y .

V_u = قوة القص المطبقة في المقطع.

l_a = طول الإرساء الإضافي إلى ما بعد نقطة الانعطاف أو إلى ما بعد مركز المسند.

وعند أي نقطة انعطاف، تكون l_a مُحدَّدة بالقيمة العظمى لـ d أو بعمق مركز ثقل التسليح أو بـ 12 مرة من قطر قضيب التسليح.

عقف القضبان

يُعرَّف طول الامتداد الإضافي الأساسي للقضبان المعقوفة ذات الإجهاد، $f_y = 60 \text{ Ksi}$ (413.7 MPa) بالعلاقة التالية:

$$l_{hb} = \frac{1200d_b}{\sqrt{f'_c}}$$

حيث:

d_n = قطر القضيب، in (mm).

f'_c = مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28، lb/in² (MPa).

التصميم بإجهاد التشغيل للجيزان المستطيلة المزودة بتسليح شد فقط

Working-Stress Design Of Rectangular Beams With Tension Reinforcement Only

بدءاً من فرضية أن الإجهاد يتغير عبر المقطع العرضي للحايز مع الابتعاد عن المحور المحايد، ينتج أن:

$$\frac{nf_c}{f_s} = \frac{k}{1-k}$$

حيث:

n = النسبة العيارية (القياسية) $\frac{E_s}{E_c}$ ، و

E_c = معامل مرونة فولاذ التسليح، Ksi (MPa)، و

E_s = معامل مرونة البيتون، Ksi (MPa).

f_c = إجهاد الضغط في أبعد سطح من البيتون، Ksi (MPa).

f_s = الإجهاد في الفولاذ، Ksi (MPa).

k = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى المحور المحايد، in (mm).

وعندما تكون النسبة الفولاذية $\rho = \frac{A_s}{bd}$ معلومة، حيث A_s = مساحة تسليح الشد مقدرة بـ in² (mm²) و b = عرض الجائز مقدرة بـ in (mm)، d = المسافة من

أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل التسليح، in (mm). فيمكن أن يتم حساب k من:

$$k = \sqrt{2np + (np)^2 - np}$$

وحيثما كان فولاذ العزم الموجب مطلوباً، توجَّب على p ألا تقل عن $\frac{200}{f_y}$ ، حيث f_y إجهاد خضوع الفولاذ. ويمكن أن يتم الحصول على المسافة jd بين مركز ثقل الضغط ومركز ثقل الشد مقدرة بـ in (mm)، من العلاقة:

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

عزم الانعطاف المقبول

عزم مقاومة البيتون، $(k.Nm)in.kip$:

$$M_c = \frac{1}{2} f_c k j b d^2 = K_c b d^2$$

حيث:

$$K_c = \frac{1}{2} f_c k j$$

وعزم مقاومة الفولاذ:

$$M_s = f_s A_s j d = f_s \rho j b d^2 = K_s b d^2$$

حيث:

$$K_s = f_s \rho j$$

القصر المقبول

إن إجهاد واحدة القص الاسمية الفاعلة، في المقطع الذي تؤثر عليه قوة القص V ، هي:

$$v = \frac{V}{bd}$$

وإجهادات القص المسموحة تساوي لـ 55 % من تلك الإجهادات العائدة لمقاومة التصميم الحدية. وبعيداً عن ذلك، تكون التصميم على القص بطريقتي إجهاد التشغيل والمقاومة الحدية نفسها. باستثناء الجيزان المكتفة والأظفار القصيرة الأخرى، يمكن أن يؤخذ المقطع الخاضع لقص أعظمي على مسافة تساوي d من وجه المسند. في حالة التصميم بإجهاد التشغيل، يجب ألا يتجاوز إجهاد القص v_c الذي يتحمله البيتون لوحده المقدار $1.1\sqrt{f'_c}$. (وكحل بديل آخر، يمكن أن تؤخذ القيمة العظمى لـ v_c مساوية لـ $\sqrt{f'_c} + 1300pVd/M$ ، بقيمة عظمى $1.9\sqrt{f'_c}$ ، حيث f'_c مقاومة الضغط للبيتون في اليوم 28 مقدرة بـ $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$ ، و M عزم الانعطاف المؤثر في المقطع ولا يقل عن Vd).

في المقطع الذي يتجاوز فيه الإجهاد الفعلي v_i المقدار $0.825\sqrt{f'_c}$ ، يتوجب عندئذ على v_c ألا تتجاوز:

$$v_c = \frac{1.1\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + (v_i / 1.2v)^2}}$$

ويتوجب على القص الزائد $v - v_c$ ألا يتجاوز $4.4\sqrt{f'_c}$ في المقاطع المزودة بتسليح الجسد. ويجب على الأساور والقضبان المثنية أن تكون قادرة على مقاومة القص الزائد $V' = V - v_c bd$.

المساحة المطلوبة في الأضلاع الشاقولية للإسوار، مقدرة بـ $(\text{mm}^2) \text{ in}^2$ ، هي:

$$A_v = \frac{V's}{f_v d}$$

حيث:

s = تباعد الأساور، $(\text{mm}) \text{ in}$.

f_v = الإجهاد المسموح في فولاذ الإسوار، (MPa) lb/in².

ومن أجل قضيب واحد مثني أو جملة من القضبان المتوازية المثنية نحو الأعلى بزاوية α مع المحور الطولي وعلى بعد متساوي من المسند، تكون المساحة المطلوبة:

$$A_v = \frac{V'}{f_v \sin \alpha}$$

ومن أجل أساور مائلة وجملة من القضبان المثنية للأعلى وعلى مسافات مختلفة من المسند، تكون المساحة المطلوبة:

$$A_v = \frac{V'_s}{f_v d (\sin \alpha + \cos \alpha)}$$

توزع الأساور الفائضة، عن تلك الأساور المطلوبة، على كل جانب من نقطتي الإيقاف بتباعد (أو بمسافة) يساوي إلى 75 % من العمق الفعّال للعنصر. مساحة وتباعد الأساور الفائضة يجب أن يحققا:

$$A_v \geq 60 \frac{b_w s}{f_y}$$

حيث

A_v = مساحة المقطع العرضي للإسوار، (mm²) in²

b_w = عرض الجسد، (mm) in

s = تباعد الإسوار، (mm) in

f_y = مقاومة الخضوع لفولاذ الإسوار، (MPa) lb/in².

يجب ألا يتجاوز تباعد الأساور s المقدار $\beta_n d/8$ ، حيث β_n هي نسبة مساحة القضبان عند نقطة الإيقاف (للأساور) على المساحة الإجمالية لقضبان الشد في المقطع d هي العمق الفعّال للعنصر.

التصميم بالمقاومة الحديدية للجيزان المستطيلة المزودة بقضبان ضغط.

Ultimate-Strength Design Of Rectangular Beams With Compression Bars

إن سعة عزم الانعطاف للجائز مستطيل مزود بفولاذ الشد والضغط معاً، هي:

$$M_u = 0.90 \left[(A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \right]$$

حيث:

a = عمق المستطيل المكافئ لتوزيع إجهاد الضغط ويساوي:

$$a = (A_s - A'_s) f_y / f_c b, \text{ in (mm)}$$

b = عرض الجائز، in (mm).

d = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل فولاذ الشد، in (mm).

d' = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل فولاذ الضغط، in (mm).

A_s = مساحة فولاذ الشد، in² (mm²).

A'_s = مساحة فولاذ الضغط، in² (mm²).

f_y = مقاومة خضوع الفولاذ، Ksi (MPa).

f'_c = مقاومة البيتون في اليوم 28، Ksi (MPa).

ويُصحّح هذا، فقط عندما يصل ضغط الفولاذ إلى f_y ويحدث هذا عندما:

$$(\rho - \rho') \geq 0.85 \beta_1 \frac{f'_c d'}{f_y d} \frac{87,000}{87,000 - f_y}$$

حيث:

$$\frac{A_s}{bd} = \rho$$

$$\frac{A'_s}{bd} = \rho'$$

$$\beta_1 = \text{ثابت.}$$

التصميم بإجهاد التشغيل للجزان المستطيلة المزودة بقضبان ضغط

Working-Stress Design Of Rectangular Beams With Compression Bars

يمكن أن تستخدم الصيغ التالية في التصميم وذلك بالاستناد على أن تغير الإجهاد والانفعال بالابتعاد عن المحور المحايد يكون خطياً.

$$k = \frac{1}{1 + f_s / n f_c}$$

حيث:

$$f_s = \text{الإجهاد في فولاذ الشد، (MPa) Ksi.}$$

$$f_c = \text{الإجهاد في أبعد سطح مضغوط، (MPa) Ksi.}$$

$$n = \text{النسبة العيارية (القياسية)، } \frac{E_s}{E_c}$$

$$f'_s = \frac{kd - d'}{d - kd} 2f_s$$

حيث:

$$f'_s = \text{الإجهاد في الفولاذ المضغوط، (MPa) Ksi.}$$

d = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل فولاذ الشد، in (mm).

d' = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل فولاذ الضغط، in (mm).

الأمثال (العامل) 2 أدخل في المعادلة السابقة وفقاً لـ ACI 318 "متطلبات كود البناء الخاصة بالبيتون المسلح"، ليوضح تأثيرات الزحف وعدم خطية مخطط الإجهاد - الانفعال للبيتون. ومهما يكن، يجب على f'_c ألا تتجاوز إجهاد الشد المسموح للفولاذ.

ولأن قوى الضغط الإجمالية تساوي قوى الشد الإجمالية على المقطع، فيكون:

$$C = C_c + C'_s = T$$

حيث:

C = الضغط الإجمالي على المقطع العرضي للجائز، (N) Kip.

C_c = الضغط الإجمالي على مقطع البيتون، (N) Kip.

C'_s = القوة الفاعلة على الفولاذ المضغوط، (N) Kip.

T = القوة الفاعلة على الفولاذ المشدود، (N) Kip.

$$\frac{f_s}{f_c} = \frac{k}{2[\rho - \rho'(kd - d')/(d - kd)]}$$

حيث:

$$\frac{A'_s}{bd} = \rho' \text{ و } \frac{A_s}{bd} = \rho$$

ومن أجل مراجعة التصميم، يمكن استخدام الصيغ التالية:

$$k = \sqrt{2n\left(\rho + \rho'\frac{d'}{d}\right) + n^2(\rho + \rho')^2 - n(\rho + \rho')}$$

$$\bar{z} = \frac{(k^3 d / 3) + 4np' d' [k - (d' / d)]}{k^2 + 4np' [k - (d' / d)]} \quad , \quad jd = d - \bar{z}$$

حيث: jd المسافة بين مركز ثقل فولاذ الضغط ومركز ثقل فولاذ الشد.
والعزم المقاوم لفولاذ الشد هو:

$$M_s = Tjd = A_s f_s jd \quad , \quad f_s = \frac{M}{A_s jd}$$

حيث: M عزم الانعطاف في المقطع المدروس من الجائز.
وعزم مقاومة الضغط:

$$M_c = \frac{1}{2} f_c jbd^2 \left[k + 2np' \left(1 - \frac{d'}{kd} \right) \right]$$

$$f_c = \frac{2M}{jbd^2 \{ k + 2np' [1 - (d' / kd)] \}}$$

تتوفر برمجيات الكمبيوتر من أجل الحسابات السابقة، إلا أن كثيراً من المصممين يفضلون الصيغ التقريبية التالية على أي حال:

$$M_1 = \frac{1}{2} f_c bkd \left(d - \frac{kd}{3} \right)$$

$$M'_s = M - M_1 = 2f'_s A'_s (d - d')$$

حيث:

M = عزم الانعطاف

M'_s = سعة المقاومة العزمية لفولاذ الضغط.

M_1 = سعة المقاومة العزمية للبيتون.

التصميم بالمقاومة الحديدية للجيزان T و I

Ultimate - Strength Design Of I And T Beams

في حال وقوع المحور المحايد ضمن الشفة (جناح المقطع)، عندها يمكن أن يُصمم العنصر كجائز ذي مقطع مستطيل بعرض فعال b وعمق d . ولكي يتحقق ذلك الشرط، لابد أن تكون ثخانة الشفة ؛ (الجناح أو الفلنجة) أكبر من المسافة c من أبعد سطح مضغوط إلى المحور المحايد،

$$c = \frac{1.18\omega d}{\beta_1}$$

حيث

$$\beta_1 = \text{ثابت}$$

$$\frac{A_s f_y}{b d f'_c} = \omega$$

$$A_s = \text{مساحة فولاذ الشد، in}^2 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

$$f_y = \text{مقاومة خضوع الفولاذ، Ksi (MPa)}.$$

$$f'_c = \text{مقاومة البيتون في اليوم 28، Ksi (MPa)}.$$

وعندما يقع المحور المحايد ضمن الجسد، يجب ألا يتجاوز العزم الحدي:

$$M_u = 0.90 \left[(A_s - A_{sf}) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{sf} f_y \left(d - \frac{t}{2} \right) \right]$$

حيث:

A_{sf} = مساحة فولاذ الشد المطلوبة لتنمية مقاومة ضغط الشفة البارزة أو الناتئة عن

$$\text{طرفي الجسد، وتساوي: } A_{sf} = 0.85 (b - b_w) t f'_c / f_y, \text{ in}^2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b_w = عرض الجسد أو جذع الجائز، (mm) in

a = عمق المقطع المستطيل المكافئ لتوزيع إجهاد الضغط، (mm) in، ويساوي:

$$a = (A_s - A_{sf}) f_y / 0.85 f_c b_w$$

ويجب ألا تتجاوز الكمية $\rho_w - \rho_f$ المقدار $0.75 \rho_b$ ، حيث ρ_b هي أمثال الفولاذ

$$\text{الخاصة بشروط التوازن، } \rho_w = \frac{A_s}{b_w d} \text{ و } \rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w d}$$

التصميم بإجهاد التشغيل للجيزان I و T

Working-Stress Design Of I And T Beams

يُعيَّن العرض الفعال للجناح المضغوط في الجيزان T وفق نفس قوانين التصميم بالمقاومة الحديدية. وقد تحدث أيضاً، بالنسبة لطريقة التصميم بإجهاد التشغيل، الحالتان: احتمال وقوع المحور المحايد إما في الشفة (الجناح) أو في الجسد. (بما يخص العزم السالب، يجب أن يُصمم الجائز T كجائز مستطيل بعرض b يساوي إلى عرض ذلك الجسد للجائز T).

فإذا كان المحور المحايد واقعاً في الشفة، فيمكن أن يُصمَّم الجائز T أو I كجائز مستطيل بعرض فعال b . وإذا كان المحور المحايد واقعاً في الجسد أو الجذع، فيمكن أن يُصمم الجائز T أو I وفق الصيغ التالية، التي تتجاهل الضغط في الجذع كما هو متبع عادة:

$$k = \frac{d}{1 + f_s / n f_c}$$

حيث:

k = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى المحور المحايد، (mm) in.

d = المسافة من أبعد سطح مضغوط إلى مركز ثقل فولاذ الشد، (mm) in.

f_c = الإجهاد في فولاذ الشد، Ksi (MPa).

f_c = الإجهاد في البيتون عند أبعد سطح مضغوط، Ksi (MPa)

$n = \frac{E_s}{E_c}$ = النسبة العيارية

ولأن قوة الضغط الإجمالية C تساوي إلى قوة الشد الإجمالية T ، يكون:

$$C = \frac{1}{2} f_c (2kd - t) \frac{bt}{kd} = T = A_s f_s$$

$$kd = \frac{2ndA_s + bt^2}{2nA_s + 2bt}$$

حيث:

A_s = مساحة فولاذ الشد، in^2 (mm^2).

t = ثخانة الجناح (سماحة الشفة)، in (mm).

المسافة بين مركز ثقل المساحة في حالة الضغط ومركز ثقل فولاذ الشد هي؛

$$jd = d - \bar{z} \quad ; \quad \bar{z} = \frac{t(3kd - 2t)}{3(2kd - t)}$$

العزم المقاوم للفولاذ هو:

$$M_s = Tjd + A_s f_s jd$$

والعزم المقاوم للبيتون هو:

$$M_c = Cjd = \frac{f_c btjd}{2kd} (2kd - t)$$

يمكن أن يتم تقريب M_s و M_c ، في التصميم، بالعلاقين:

$$M_s = A_s f_s \left(d - \frac{t}{2} \right)$$

$$M_c = \frac{1}{2} f_c b t \left(d - \frac{t}{2} \right)$$

المشتقتين باستبدال jd بـ $d - t/2$ و $f_c (1 - t/2kd)$ بـ $f_c/2$ ، عن طريق إجهاد الضغط المتوسط المؤثر على المقطع.

التصميم بالمقاومة الحديدية بالنسبة لعزم الفتل

Ultimate-Strength Design For Torsion

عندما يكون الفتل الحدي (الأقصى) T_u أقل من القيمة المحسوبة من معادلة T_u الآتية، عندها يجب أن تكون المساحة A_v لتسليح القص على الأقل:

$$A_v = 50 \frac{b_w s}{f_y}$$

وعلى أي حال، عندما يتجاوز الفتل الحدي قيمة T_u المحسوبة من معادلة T_u الآتية، وحيث أن تسليح الجسد يكون مطلوباً إما اسماً أو بالحساب، عندئذ تكون المساحة الأصغر المطلوبة للأساور المغلقة هي:

$$A_v + 2A_t = \frac{50b_w s}{f_y}$$

حيث: A_t هي مساحة أحد أضلاع الإسوار المغلقة المقاومة للفتل ضمن مسافة s .

يجب أن يتم أخذ تأثيرات (إجهادات) الفتل بالاعتبار كلما تجاوز الفتل الحدي:

$$T_u = \phi (0.5 \sqrt{f'_c} \sum x^2 y)$$

حيث:

ϕ = عامل تخفيض السعة = 0.85

T_u = عزم الفتل التصميمي الحدي.

$\sum x^2 y$ = مجموع جداء أقصر ضلع بأطول ضلع لكل مستطيل من المستطيلات المركبة للمقطع (عندما يكون المقطع T قيد التطبيق، فيجب ألا يتجاوز عرض الشفة البارزة المستخدمة في التصميم ثلاث مرات من سماكتها) يجب ألا يتجاوز الفتل T_c الذي يعبأ به البيتون لوحده المقدار:

$$T_c = \frac{0.8 \sqrt{f'_c} \sum x^2 y}{\sqrt{1 + (0.4 V_u / C_1 T_u)^2}}$$

حيث:

$$C_1 = b_w d / \sum x^2 y$$

يجب أن يتم حساب تباعد الأساور المغلقة الخاصة بالفتل من:

$$s = \frac{A_1 \phi f_y \alpha_1 x_1 y_1}{(T_u - \phi T_c)}$$

حيث؛

A_1 = مساحة أحد أضلاع الإسورة المغلقة.

$$\frac{y_1}{x_1} 0.33 + 0.66 = \alpha_1 \text{ ولا تزيد عن } 1.50.$$

f_y = مقاومة خضوع تسليح الفتل.

x_1 = أقصر بعد من c إلى c لأضلاع الإسورة المغلقة.

y_1 = أطول بعد من c إلى c لأضلاع الإسورة المغلقة.

ومهما يكن، يجب ألا يتجاوز تباعد الأساور المغلقة $\frac{x_1 + y_1}{4}$ أو 12 إنش (304.8 mm).

* مثلاً، في حالة المقطع لـ لدينا ثلاثة مستطيلات مركبة للمقطع، والمجموع $\sum x^2 y$ سيتألف بالتالي من ثلاثة جداءات. (المعد).

ويجب أن يمتد تسليح الفتل على الأقل مسافة تساوي $d + b$ إلى ما بعد النقطة التي ينتهي عندها هذا التسليح نظرياً، حيث b عرض الجائز.

يجب أن يتم وضع قضيب طولاني واحد على الأقل في كل زاوية للأساور.

ويجب أن يكون قياس القضبان الطولية No.3 على الأقل، والتباعد فيما بينها حول محيط الإسوار يجب ألا يتجاوز 12 إنش (304.8 mm).

وتكون القضبان الطولية الأكبر من القياس No.3 مطلوبة، وذلك إذا ما تمّ تحديدها من أكبر قيمة لـ Al المحسوبة من المعادلتين التاليتين:

$$Al = 2A_t \frac{x_1 + y_1}{s}$$

$$Al = \left[\frac{400xs}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3C_t}} \right) - 2A_t \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

في المعادلة الثانية من المعادلتين السابقتين يمكن استبدال $2 A_t$ بـ $\frac{50b_ws}{f_y}$.
إن عزم الفتل المسموح الأعظمي هو:

$$T_u = \phi 5 T_c$$

التصميم بإجهاد التشغيل بالنسبة لعزم الفتل

Working-Stress Design For Torsion

لا بد من اعتبار تأثيرات (إجهادات) عزم الفتل كلما نتج فتل T عن حمولات خدمة وكان يتجاوز المقدار:

$$T = 0.55(0.5f'_c \sum x^2 y)$$

حيث:

$\sum x^2 y$ = مجموع جداء مربع أقصر ضلع بأطول ضلع لكل مستطيل من المستطيلات المركبة للمقطع. إجهاد الفتل المسموح على البيتون يساوي لـ 55 % من ذلك المحسوب من معادلة T_c السابقة. يجب أن يُحسب التباعد بين الأساور المغلقة الخاصة بالفتل من:

$$s = \frac{3A_1 \alpha_1 x_1 y_1 f_v}{(v_1 - v_{1c}) \sum x^2 y}$$

حيث:

A_1 = مساحة أحد أضلاع الإسواراة المغلقة.

$$0.66 + \frac{0.33 y_1}{x_1} = \alpha_1 \text{ ، ولا تزيد عن } 1.50$$

v_{1c} = إجهاد الفتل المسموح على البيتون.

x_1 = البعد الأقصر من c إلى c لأضلاع الإسواراة المغلقة.

y_1 = البعد الأطول من c إلى c لأضلاع الإسواراة المغلقة.

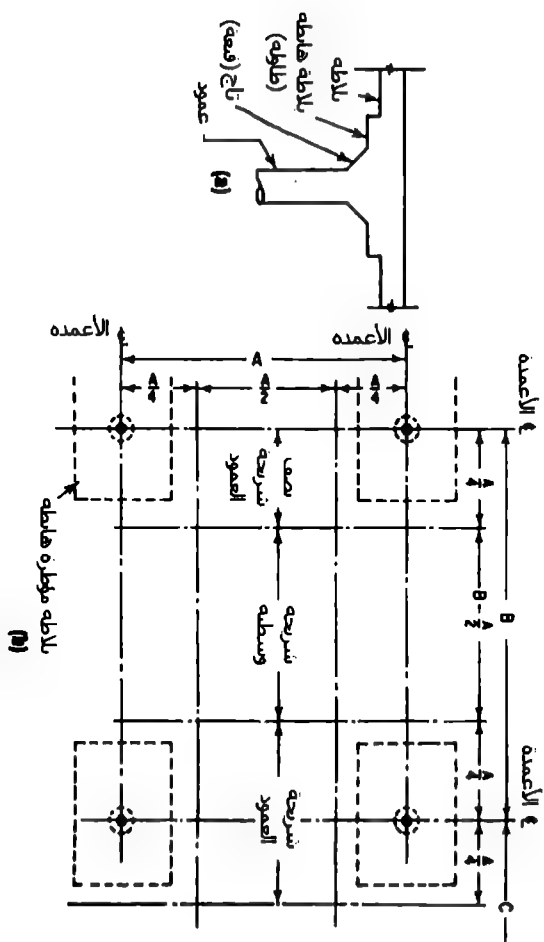
إنشاء البلاطات المسطحة

Flat-Slab Construction

تُسمى البلاطات المستندة مباشرة على الأعمدة، دون جيزان أو جمور رئيسية، بالبلاطات الفطرية أو المسطحة - FLAT-SLABS. وبصورة عامة، تنفرج الأعمدة بالاتساع (مثل البوق) في قمم تيجانها في هذا النوع من البلاطات (شكل 5.3).

وعلى أي حال، يُعتبر ذلك الجزء فقط، من المخروط المقطوع والمقلوب والمُشكّل بحيث يقع ضمن زاوية رأس مخروط تساوي 90° ، فعالاً في مقاومة الإجهاد.

أحياناً، يزود تاج العمود الخارجي بكتف قوسي داعم على الوجه الداخلي للعمود.



الشكل 5.3 بلاطة بيتونية مسطحة.

- (a) مقطع شاقولي، مار من البلاطة الهابطة والعمود، عند المسند.
- (b) مشهد أفقي يُحدّد تقسيمات البلاطة إلى شرائح للأعمدة وشرائح وسطية.

يمكن أن تكون البلاطة مليئة أو مجوفة بصناديق من القرميد أو مفرغة بقوالب صب خاصة بهذا النوع من البلاطات. وتكون عادةً البلاطات المفرغة أكثر الأنواع اقتصادية بالنسبة للمجازات الطويلة بالرغم من أن تكلفة القالب في هذا النوع من البلاطات قد تتجاوز تكلفة قوالب البلاطات المليئة. فالقوالب المفرغة للبلاطة تقوم بحذف كمية كبيرة من البيتون الموجود في منطقة الشد الذي يُعتبر بلا فاعلية في مقاومة الإجهادات.

يُثبت كود الـ ACI الشحانات الأصغرية لضبط التشوه وفق ما هو مُحدد بالمعادلات التالية:

$$h = \frac{l_n (0.8 + f_y / 200,000)}{36 + 5\beta[\alpha_m - 0.12(1 + 1/\beta)]} \geq \frac{\ln(0.8 + f_y / 200,000)}{36 + 9\beta}$$

حيث:

h = ثخانة البلاطة، (mm) in

l_n = طول المحاز التنظيف (الداخلي) بالاتجاه الطويل للبلاطة، (mm) in.

f_y = مقاومة خضوع التسليح، Ksi (MPa).

β = نسبة المحاز التنظيف بالاتجاه الطويل على المحاز التنظيف بالاتجاه القصير.

α_m = القيمة الوسطية لـ α الخاصة بكل الجيزان الموجودة على حواف البلاطة.

α = نسبة الصلابة المرونية (E_{cb} I_b) لمقطع الجائز على الصلابة المرونية (E_{cs} I_s) لعرض البلاطة المحدودة به جانبياً بخط مركز البلاطة (المحدودة) المجاورة، إن وجدت، على كل جانب من الجائز.

E_{cb} = عامل مرونة البيتون في الجائز.

E_{cs} = عامل مرونة البيتون في البلاطة.

I_b = عزم العطالة حول المحور المار بمركز ثقل المقطع الخامي (الإجمالي) للجائز، الذي يتضمن ذلك الجزء من البلاطة على كل من طرفي الجائز والممتد إلى مسافة تساوي إلى بروز الجائز فوق أو تحت البلاطة، والذي يكون (ذلك الجزء) في جميع الأحوال أكبر من ثخانة البلاطة ولكن لا يزيد عن أربع مرات من سماكتها.

I_c = عزم العطالة حول المحور المار بمركز ثقل المقطع الخامي (الإجمالي) للبلاطة ويساوي $\frac{h^3}{12}$ مرة من عرض البلاطة المحددة في تعريف α .

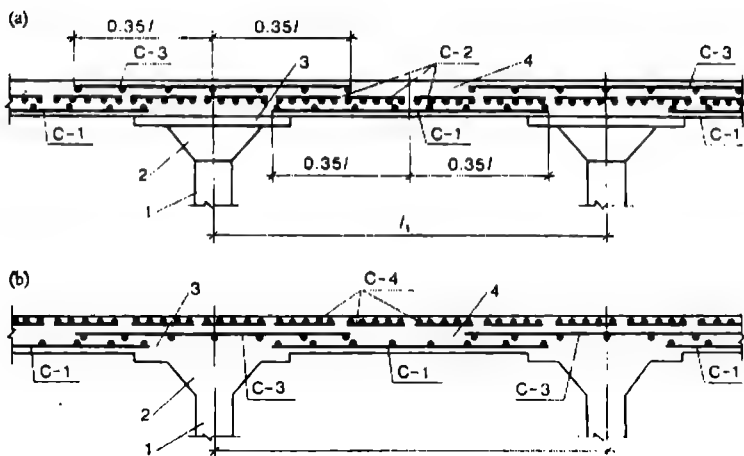
مهما يكن، لا تزيد ثخانة البلاطة عن: $(I_b/36) (0.8 + f_y/200,000)$

إنشاء الصفائح المسطحة Flat-Plate Construction

تدعى البلاطات المسطحة - Flat Slabs ذات الثخانة الثابتة بين المساند بالصفائح المسطحة flat - plates. وتكون، بصورة عامة، القبعات أو التيجان محذوفة من الأعمدة.

التصميم أو التحليل الدقيق للبلاطات المسطحة أو الصفائح المسطحة مُعَقَّد جداً. ويكون التصرف العملي الشائع استخدام الطرق التقريبية. يقدم كود الـ ACI طريقتين من هذا النحو: طريقة التصميم المباشر وطريقة الهيكل المكافئ.

في كلا الطريقتين، تُعتبر البلاطة المسطحة مؤلفة من شرائح متوازية مع خطوط الأعمدة في اتجاهين متعامدين. وتمتد شريحة العمود في كل اتجاه بمجاز بين عمودين ويكون لها عرض ربع أقصر المجازين المتعامدين على كل طرف من خط مركز العمود. وجزء البلاطة الواقع بين شرائح الأعمدة المتوازية ضمن كل طاولة محدّدة بأربعة أعمدة (البلاطة المحددة بأربع زوايا أو أربعة أعمدة تدعى طاولة - Panel) يدعى بالشريحة الوسطى (انظر الشكل 5.3).

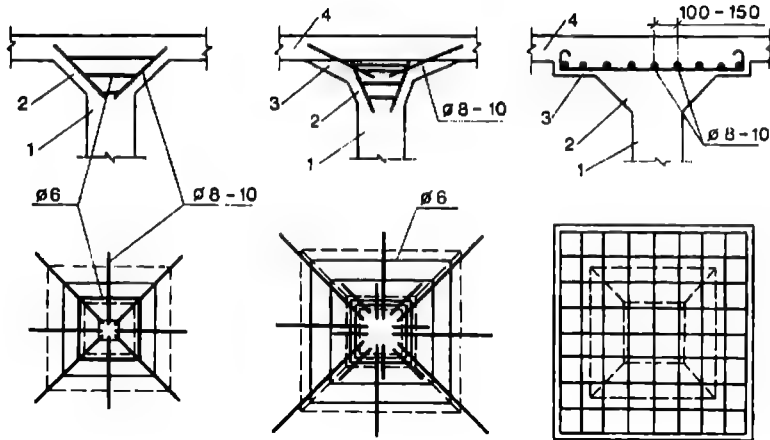


مثال نموذجي من بلاطة مسطحة مصبوبة في الحقل

(a) مقطع مار من منتصف مجاز البلاطة.

(b) مقطع مار من مراكز الأعمدة.

(1) عمود. (2) التاج. (3) الجزء الموسع من تاج العمود. (4) البلاطة.



تسليح تيجان الأعمدة في البلاطة المسطحة.

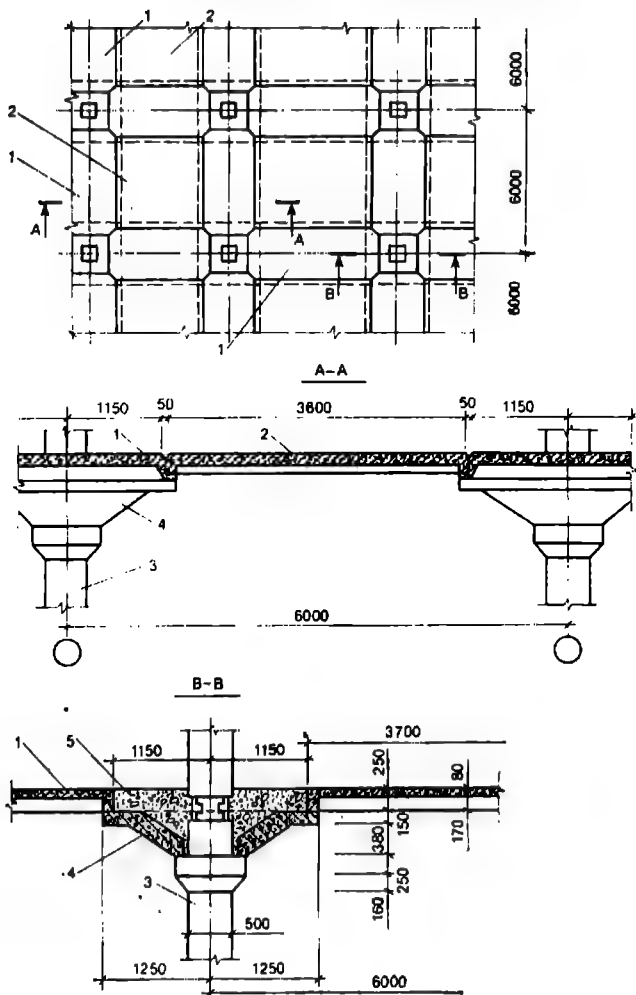
(1) العمود (2) التاج (3) الجزء الموسع من التاج (4) البلاطة

طريقة التصميم المباشر

يمكن أن تستخدم هذه الطريقة عندما تكون جميع الشروط التالية موجودة:

- للبلاطة ثلاث تقسيمات أو أكثر في كل اتجاه.
- نسبة الطول إلى العرض للطاولة تساوي إلى 2 أو أقل.
- الحمولات موزعة بانتظام فوق الطاولة.
- نسبة الحمولة الحية إلى الحمولة الميتة تساوي إلى 3 أو أقل.
- تشكل الأعمدة بصورة تقريبية شبكة من المستطيلات بانحياز أو انحراف أعظمي (10 %).
- لا تختلف الجحازات المتتالية في كل اتجاه بأكثر من ثلث أطول مجال.

مثال نموذجي من بلاطة مسطحة (فطرية) مسبقة الصنع



بلاطة فطرية مسبقة الصب (1) بلاطة مُسَقَّطَة (2) البلاطة (3) العمود
(4) تجويف نواة التاج (5) بيتون مصبوب في الحقل

وعندما تكون الطاولة مستندة على جيزان في كل الأطراف، تحقق الصلابة النسبية للجيزان المتراجحة:

$$0.2 \leq \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 \leq 5$$

حيث:

$$\alpha = \alpha_1 \text{ وفق اتجاه } l_1$$

$$\alpha = \alpha_2 \text{ وفق اتجاه } l_2$$

α = الصلابة النسبية للحائز المعرفة في المعادلة السابقة.

l_1 = المجاز في الاتجاه الذي تكون فيه العزوم معينة، من C إلى C للمساند.

l_2 = المجاز المتعامد مع l_1 ، من C إلى C للمساند.

المعادلة الأساسية المستخدمة في التصميم المباشر هي طريقة العزم التصميمي الاستاتيكي الإجمالي في شريحة محددة طرفياً بخط مركز الطاولة على جانبي خط مركز المساند.

$$M_o = \frac{W l_2 l_n^2}{8}$$

حيث:

W = حمولة التصميم المنتظمة بوحدة مساحة البلاطة.

l_n = المجاز النظيف (الداخلي = من الوجه إلى الوجه) وفق اتجاه العزوم المعنية.

يجب أن تُصمم الشريحة ذات العرض l_2 بالنسبة لعزوم الانعطاف التي من أجلها يساوي مجموع القيم المطلقة لعزم الانعطاف الموجب ومتوسط عزم الانعطاف السالب، في كل مجاز، إلى M_o أو يكرها.

1. يجب أن يحقق مجموع الصلابات المرونية للأعمدة فوق وتحت البلاطة $\sum K_c$ ،

$$\alpha_c = \frac{\sum K_c}{\sum (K_s + K_b)} \geq \alpha_{\min}$$

حيث

K_c = الصلابة المرونية للعمود $E_{cc} I_c$ و

E_{cc} = عامل مرونة بيتون العمود.

I_c = عزم العطالة حول المحور المار بمركز ثقل المقطع الخامي للعمود.

$$K_s = E_{cs} I_s$$

$$K_b = E_{cb} I_b$$

α_{\min} القيمة الصغرى لـ α_c ، كما تُعطى في الكتب الهندسية المساعدة.

2. إذا لم تحقق الأعمدة الشرط 1 فيجب أن تُضرب عزوم التصميم الموجبة، في الطاولات البيتونية، بالعامل (الأمثال) العددي:

$$\delta_s = 1 + \frac{2 - \beta_a}{4 + \beta_a} \left(1 - \frac{\alpha_c}{\alpha_{\min}} \right)$$

Shear In Slabs

القص في البلاطات

يجب أن يتم اختبار البلاطات، بما يخص القص أيضاً، وذلك من أجل القص الجانزي (beam-type) والقص التقيبي (Punching sheard). فتعتبر البلاطة جائزاً مستطيلاً رقيقاً وعريضاً في حالة القص الجانزي. ويجب أن يؤخذ المقطع الحرج، بما يخص الشد القطري على مسافة من وجه العمود أو قبعته مساوية إلى العمق الفعال d للبلاطة. ويمتد المقطع الحرج عبر كامل عرض البلاطة b . ويجب ألا يتجاوز، عبر هذا المقطع، إجهاد القص الاسمي v_u على البيتون المسلح السعة الحدية $2\sqrt{f'_c}$ أو

إجهاد التشغيل المسموح $1.1\sqrt{f'_c}$ ، حيث f'_c مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28 مقدره بـ lb/in^2 (MPa).

يمكن أن يحدث القص الثقبي عبر عدة مقاطع تلتف بشكل مكتمل حول المسند، مثلاً، حول وجه العمود أو قبة العمود أو حول الطاولة الهابطة.

ويحدث المقطع الحرج عند مسافة $d/2$ من أوجه المساند، حيث d العمق الفعال للبلاطة أو للطاولة الهابطة. يجب أن يعتمد تصميم القص الثقبي على:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

حيث:

ϕ = عامل تخفيض السعة (ويساوي إلى 0.85 بالنسبة للقص والقتل)، وذلك بأخذ مقاومة قص V_n لا تزيد عن مقاومة البيتون V_c المحسوبة من:

$$V_c = \left(2 + \frac{4}{\beta_c}\right) \sqrt{f'_c} b_o d \leq 4\sqrt{f'_c} b_o d$$

حيث: b_o = محيط المقطع الحرج، β_c = نسبة الضلع الطويل على الضلع القصير للمقطع الحرج.

على أي حال، إذا ما تم إضافة تسليح القص فيمكن أن يزداد القص المسموح بقيمة أعظمية = 50 % من قيمته إذا ما استخدم تسليح قص مؤلف من قضبان، ويمكن أن يزداد (القص المسموح) بقيمة أعظمية = 75 % من قيمته إذا ما استخدمت رؤوس قص مؤلفة من زوجين من الفولاذ المشكّل وفق هذه الرؤوس.

عموماً، يتألف تسليح قص البلاطات من قضبان مثنية ويصمم بالتوافق مع إمدادات الجيزان بمقاومة قص البيتون عند المقاطع الحرجة المساوية لـ $2\sqrt{f'_c} b_o d$ عند الوصول إلى المقاومة الحدية و $V_n \leq 6\sqrt{f'_c} b_o d$.

لا بد من أخذ الحذر الشديد للتأكد من أن تسليح القص قد وضع في مكانه على نحو دقيق وأرسي بالطريقة المناسبة، خاصة في البلاطات الرقيقة.

Column Moments

عزوم الأعمدة

الاعتبار الهام الآخر في تصميم أنظمة البلاطات ذات الاتجاهين، هو انتقال العزوم إلى الأعمدة. ويشكل هذا، بصورة عامة، شرطاً حرجاً عند حواف الأعمدة، حيث يكون عزم البلاطة اللامتوازن كبيراً جداً بسبب الطولة ذات الطرف الواحد.

فيعتبر عزم البلاطة اللامتوازن منقولاً جزئياً إلى العمود بالاتصال المرن عبر المقطع الحرج الذي يبعد بمقدار $d/2$ من الحافة الخارجية للعمود، ومنقولاً جزئياً إلى العمود عن طريق قوى القص. اللامركزية (اللامحورية) الفاعلة حول مركز ثقل المقطع الحرج.

ويعطى ذلك الجزء من عزم البلاطة اللامتوازن M_u المنقول عن طريق لا تمرركزية القص — $\gamma_v M_u$:

$$\gamma_v = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}}$$

حيث:

b_1 = عرض، مقدراً بـ (mm) in، المقطع الحرج في اتجاه المجاز الذي من أجله تكون عزوم الانعطاف محسوبة.

b_2 = عرض، مقدراً بـ (mm) in، المقطع الحرج في اتجاه المجاز العمودي على b_1 .
عندما يزداد عرض المقطع الحرج المقاوم للعزم (عمود مستطيل)، فإن ذلك الجزء من عزم اللاتوازن، المنقول بالاتصال المرن، يزداد أيضاً.

يجب على قوة القص العظمى المحللة (إلى مركبات)، المعينة بتركيب الحمولة الشاقولية مع ذلك الجزء من قوة القص الناتجة عن عزم اللا توازن المنقول، ألا تتجاوز V_c ، بقيمة ϕV_c معطاة في معادلة V_c السابقة. ويمكن أن يتم تعيين القص الناتج عن نقل العزم عند المقطع الخرج بمعاملة هذا المقطع كأنبوب مشابه ذي ثخانة d وخاضع لعزم انعطاف $\gamma_e M_u$.

يكون إجهاد القص في الشق، عند وجه العمود أو عند الكتف الداعم محددًا بالقيمة $0.2 f'_c$ أو بالقيمة العظمى $800 A_c$ ، حيث A_c مساحة مقطع البيتون المقاوم لنقل القص.

يجب أن يتم حساب مساحة تسليح القص الاحتكاكي A_{vf} المطلوبة، بالإضافة إلى التسليح المضاف الذي يعبأ بالشد المباشر الناتج عن تغيرات درجة الحرارة أو الانكماش، من العلاقة:

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu}$$

حيث:

V_u = القص التصميمي، Kip (KN)، في المقطع.

f_y = مقاومة خضوع التسليح ولا تزيد عن 60 Ksi (413.7 MPa).

f = عامل الاحتكاك ويساوي 1.4 من أجل البيتون المصبوب بنفس الوقت في جميع العناصر (البلاط والجيزان....) ويساوي 1.6 من أجل بيتون مصبوب فوق البيتون المتصلب ويساوي 0.7 من أجل بيتون مصبوب فوق عناصر فولاذية مدلفنة.

يجب أن يتم توزيع تسليح قص الاحتكاك بطريقة جيدة عبر وجه الشق وأن يُرسى بطريقة مناسبة على كل طرف.

Spirals

التسليح الحلزوني

يجب ألا يقل قطر هذا النوع من التسليح المستعرض (الموضوع بشكل عرضي) عن $\frac{3}{8}$ إنش (9.5 mm) . يمكن أن يتم إرساء التسليح الحلزوني عند طرفيه بـ $1\frac{1}{2}$ دورة إضافية للحلزون. ويتم تركيب هذه الجديلة من القضبان عن طريق لحامها أو عن طريق لفها (غزلها) بقطر يساوي إلى 48 مرة من قطر القضبان المستخدمة ولا يقل عن 12 إنش (304.8 mm). يجب ألا يتجاوز التباعد بين دورانات الحلزون (الخطوة الدورانية) 3 إنش (76.2 mm) أو أن يكون أقل من 1 إنش (25.4 mm). يجب أن يكون التباعد التنظيف (من الداخل إلى الداخل) على الأقل $1\frac{1}{3}$ مرة من القيمة العظمى للتركيب الحي للبيتون.

ويجب أن تكون نسبة حجم اسطوانة الفولاذ الحلزوني على اسطوانة النواة البيتونية المليئة (من خارج الحلزون) على الأقل:

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$$

حيث:

A_g = مساحة المقطع الخامي للعمود.

A_c = مساحة نواة العمود المقاسة من خارج الحلزون.

f_y = مقاومة خضوع فولاذ الحلزون.

f'_c = مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28.

الهيكل المقواة والهيكل اللا مقواة

Braced And Unbraced Frames

حتى تتخذ دليلاً توجيهياً في الحكم إذا ما كان الإطار مقوى أم لا، عُد إلى شرح الـ ACI، الذي يُبين أنه يمكن اعتبار الهيكل مقوى إذا كان لعناصر التقوية،

مثل الجدران القصية أو الجيزان الشبكية أو الطرق الأخرى المقاومة للحركة الجانبية في الطابق، صلابة إجمالية تساوي على الأقل إلى ستة أضعاف مجموع صلابات كل الأعمدة المقاومة للحركة الجانبية في الطابق.

يمكن أن يتم حذف تأثير النحافة تحت الشرطين التاليين:

بالنسبة للأعمدة المقاومة ضد الحركة بالاتجاه الجانبي، عندما:

$$\frac{kl_u}{r} < 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$$

حيث:

M_1 = أصغر عزمي نهايتي العمود المعين وفق طريقة التحليل التقليدية للإطار المرن، وبإشارة موجبة إذا كان العمود مثنيًا بانحناء واحد وبإشارة سالبة إذا كان العمود مثنيًا بانحنائين.

M_2 = القيمة المطلقة لأكبر عزمي نهايتي العمود المعين وفق طريقة التحليل التقليدية للإطار المرن.

وبالنسبة للأعمدة المقاومة ضد الحركة بالاتجاه الجانبي، عندما:

$$\frac{kl_u}{r} < 22$$

Load-Bearing Walls

جدران التحميل الشاقولي

تخضع هذه الجدران، إضافة إلى وزنها الذاتي، إلى حمولات ضغط محورية وإلى انحناء مرن في حال وجود حمولة لا مركزية أو حمولات جانبية. يمكن أن تُصمّم جدران التحميل الشاقولي بطريقة مشابهة لتلك الطريقة الخاصة بالأعمدة التي تتضمن متطلبات تصميم مغايرة لآلية التحميل الجداري.

وكحل بديل آخر، يمكن أن تُصمَّم جدران التحميل وفق إجراءات عملية معطاة في كود الـ ACI عندما تكون لا مركزية حمولة الضغط الحاصلة مساوية أو أقل من سدس ثخانة الجدار.

وعلى جدران التحميل المصممة بإحدى الطريقتين أن تقابل متطلبات التسليح الأصغرية العائدة لحالة الجدران اللاتحتملية.

في الطريقة الحقلية، وتكون السعة المحورية (الحملية) للجدار مقدرة بـ $Kip (KN)$:

$$\phi p_n = 0.55 \phi f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right]$$

حيث:

f'_c = مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28. Ksi. (MPa).

A_g = مساحة مقطع الجدار الخامية (الإجمالية)، in^2 ، (mm^2) .

ϕ = عامل تخفيض المقاومة = 0.70.

l_c = المسافة الشاقولية بين المساند، in (mm).

h = الثخانة الإجمالية للجدار، in (mm).

k = عامل الطول الفعال.

ويجب أن يؤخذ الطول الفعال - في جدار يعبأ بحمولة مركزة - للمسند الذي يعبأ بهذه الحمولة كأصغر مسافة من المركز إلى المركز بين الحمولات وعرض التحميل زائد $4h$.

Shear Walls

الجدران القصية

الجدران الخاضعة إلى قوى قص أفقية في مستوى الجدار بالإضافة إلى تحقيقها لمتطلبات المرونية، يجب أن تكون قادرة على مقاومة القص.

يمكن أن يُحسب إجهاد القص الاسمي من:

$$v_u = \frac{V_u}{\phi h d}$$

حيث:

V_u = قوة القص التصميمية الكلية.

ϕ = عامل تخفيض السعة = 0.85

$d = 0.8 l_w$

h = الثخانة الكلية للجدار

l_w = الطول الأفقي للجدار.

تعتمد قوة القص التصميمية V_c التي يعبأ بها البيتون على إذا ما كانت حمولة التصميم المحورية N_u ، النازمية على المقطع العرضي الأفقي للجدار والتي تعمل بصورة آنية ومتزامنة مع V_u في المقطع، قوة ضغط أم قوة شد. فعندما تكون N_u قوة ضاغطة، يمكن أن تؤخذ V_c مساوية لـ $2\sqrt{f'_c}hd$ ، حيث، f'_c مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28 مقدرة بـ $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$. وعندما تكون N_u قوة شادة فيجب أن تؤخذ كقيمة مساوية لأصغر القيمتين المحسوبتين من:

$$V_c = 3.3\sqrt{f'_c}hd - \frac{N_u d}{4l_w}$$

$$V_c = hd \left[0.6\sqrt{f'_c} + \frac{l_w (1.25\sqrt{f'_c} - 0.2N_u / l_w h)}{M_u / V_u - l_w / 2} \right]$$

ولا تطبق هذه المعادلة، في جميع الأحوال، عندما يكون $\left(\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2} \right)$ سالباً.

عندما تكون قوة القص V_u المحللة إلى مركبات (أو المضروبة بعامل تصغير) أقل من $V_c \phi 0.5$ ، فيجب أن يتم تزويد التسليح وفق ما هو مطلوب بالطريقة الحقلية الخاصة بالجدران التحميلية.

وعندما تتجاوز V_u المقدار $V_c \phi 0.5$ ، فيجب أن يتم تزويد التسليح الأفقي وفق العلاقة : $V_u = A_v f_y d/s_2$ ، حيث : S_2 = تباعد التسليح الأفقي و A_v = مساحة التسليح.

أيضاً، يجب أن تكون النسبة ρ_n لتسليح القص الأفقي على مساحة البيتون الخامية مساوية على الأقل إلى 0.0025.

يجب ألا يتجاوز تباعد قضبان القص الأفقية $\frac{l_w}{5}$ أو 3h أو 18 إنش (457.2 mm).

إضافة لذلك، يُفضل ألا تزيد نسبة مساحة تسليح القص الشاقولي إلى مساحة البيتون الخامية للمقطع الأفقي للجدار عن تلك النسبة المطلوبة للتسليح الأفقي ولكن يجب ألا تقل عن:

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right)$$

$$(\rho_n - 0.0025) \leq 0.0025$$

حيث:

h_w = الارتفاع الكلي للجدار.

يجب ألا يتجاوز تباعد تسليح القص الشاقولي $\frac{l_w}{3}$ أو 3h أو 18 إنش (457.2 mm).

وفي جميع الحالات، يجب عدم أخذ قوة القص V_u أكبر من $10\sqrt{f'_c}hd$ في أي مقطع.

يجب ألا يتجاوز إجهاد التحميل على البيتون، في أماكن إرساء العناصر المزودة بتسليح كاف في نهاية المنطقة، القيمة f_n المحسوبة من:

$$f_b = 0.8f'_c \sqrt{\frac{A_b}{A'_b}} - 0.2 \leq 1.25f'_{ci}$$

$$f_b = 0.6\sqrt{f'_c} \sqrt{\frac{A_b}{A'_b}} \leq f'_c$$

حيث:

A_b = مساحة تحميل صفيحة الإرساء.

A'_b = المساحة الأعظمية لجزء من سطح الإرساء المشابه والمتمركز هندسياً مع مساحة صفيحة الإرساء.

إن تحليلاً أكثر عمقاً وحیطة يمكن أن يُطبّق في تصميم مناطق إرساء النهايات للعناصر المسبقة الإجهاد من أجل زيادة المقاومة الحدية للأوتار المشدودة. ويجب أن تؤخذ ϕ مساوية لـ 0.90 من أجل البيتون.

جدران البيتون الاستنادية الثقالية

Concrete Gravity Retaining Walls

تتضمن القوى الفاعلة على الجدران الثقالية وزن الجدار ووزن التربة على الظهر المائل وكعب (المرتکز الخلفي) الجدار وضغط التربة الجانبي وضغط التربة الحاصل على القاعدة. ومن المنصوح به تضمين قوة مؤثرة على قمة الجدار أيضاً لتوضيح فعل الصقيع، بقيمة تقريبية 700 lb/linear ft (1042 Kg/m).

بالحصول، قد يفشل أو ينهار الجدار بالانقلاب أو بالانزلاق أو نتيجة لإجهادات مفرطة على البيتون أو نتيجة لغوص ناتج عن انسحاق التربة.

يبدأ التصميم عادةً باختيار شكل وأبعاد تجريبية ثم يتم اختبار هذا التصميم على الاستقرار. وعندما يكون ارتفاع الجدار ثابتاً، فيمكن عندئذ أن يتم تحليل مقطع بطول 1 قدم (0.305 m) كطريقة ملائمة للتصميم. تؤخذ العزوم حول إصبع القدم

(الارتكاز الأمامي). ويجب أن يكون مجموع عزوم التصحيح (العزوم المضادة للانقلاب) مساوياً على الأقل إلى 1.5 مرة من مجموع عزوم الانقلاب. ولمنع الانزلاق:

$$\mu R_v \geq 1.5 p_h$$

حيث:

μ = عامل الاحتكاك الانزلاقي.

R_v = القوة الإجمالية المؤثرة على التربة بالاتجاه السفلي، lb (N).

p_h = المركبة الأفقية لدفع التربة، lb (N).

بعد ذلك، لابد من إيجاد موقع القوة الشاقولية الحاصلة عند عدة مقاطع للجدار عن طريق أخذ مجموع العزوم حول إصبع القدم (نقطة الارتكاز الأمامية) ثم تقسيم المجموع على R_v . ويجب على القوة الحاصلة أن تفعل في الثلث الأوسط من كل مقطع إن لم تكن هناك قوة شادة في الجدار.

أخيراً، لابد من حساب الضغط المبذول من قبل القاعدة على التربة للتأكد من أن الضغط المسموح على التربة لم يتم تجاوزه. وعندما يكون الضغط الحاصل واقعاً ضمن الثلث الأوسط، فإن الضغوط تحت نهايات القاعدة مقدرة بـ $(Pa) \text{ lb/ft}^2$ تُعطى بـ:

$$p = \frac{R_v}{A} \pm \frac{M_c}{I} = \frac{R_v}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right)$$

حيث:

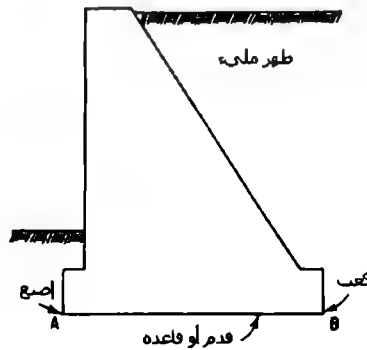
A = مساحة القاعدة، $\text{ft}^2 (m^2)$.

L = عرض القاعدة، ft (m).

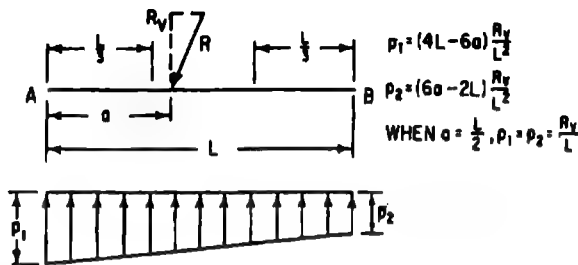
e = المسافة، الموازية لـ L ، من مركز ثقل القاعدة إلى R_v ، ft (m).

يوضح الشكل 5.4 الضغط الموزع تحت شريحة بعرض 1 قدم (0.305 m) تحت الجدار من أجل $e = \frac{L}{2} - a$ ، حيث a بعد R_v عن إصبع القدم. وعندما تبعد R_v

بمقدار $\frac{L}{3}$ تماماً عن إصبع القدم، فإن الضغط عند كعب القدم يصبح صفراً (الشكل 5.4c). وعندما تقع R_v خارج الثلث الأوسط، فإن الضغط يتلاشى أسفل المنطقة حول الكعب ويصبح الضغط عند الإصبع أكبر بالمقارنة مع الحالات الأخرى (شكل 5.4 d).



(a) حدار تقالي

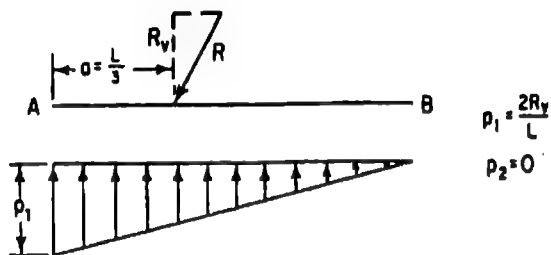


(b) محصلة القوى تقع ضمن الثلث الأوسط

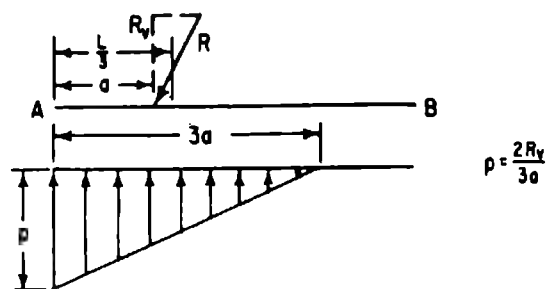
الشكل 5.4 محططات الضغط على قاعدة حدار ثقالي بيتوني يستند على تربة

(a) مقطع شاقولي مار بالجدار.

(b) مقدار الضغط أسفل القاعدة بأكملها.



(c) محصلة القوى عند حافة الثلث الأوسط



(d) محصلة القوى خارج الثلث الأوسط

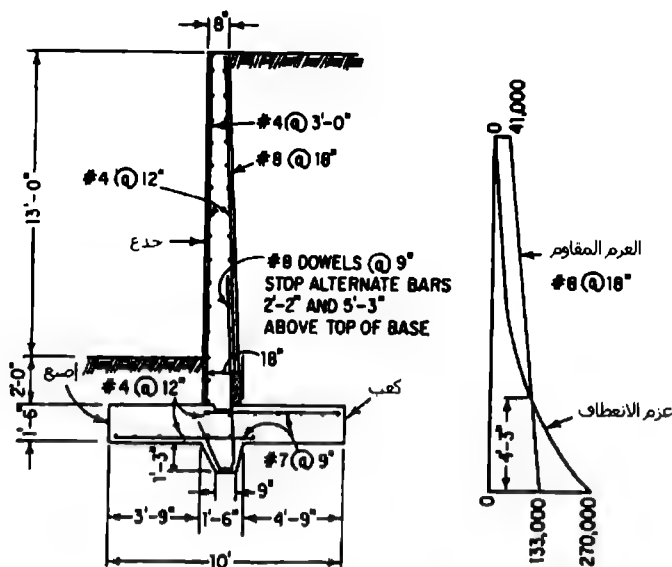
الشكل 5.4 /تابع/ مخططات الضغط على قاعدة جدار بيتوني يستند على التربة، من الأسفل.

(c) لا يوجد ضغط على إحدى حواف القاعدة.

(d) ضغط تحت جزء من القاعدة فقط. لا يوجد مسند من التربة تحت بقية الجائز.

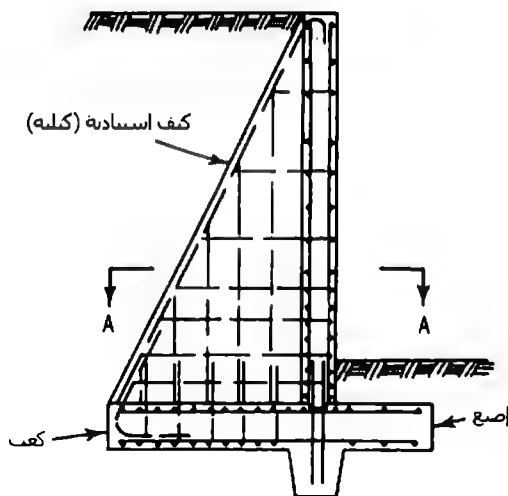
Cantilever Retaining Walls الجدران الاستنادية الضفرية

يقاوم هذا النوع من الجدران الدفع الجانبي لضغط التربة من خلال عمل ظفر الجذع الشاقولي ومن خلال القاعدة الأفقية (شكل 5.5). وتكون عادة الجدران الظرفية اقتصادية من أجل ارتفاعات تتراوح من 10 إلى 20 قدم (3 إلى 6 متر). بالنسبة للجدران القليلة الارتفاع، فقد تكون الجدران الشقالية أقل كلفة في هذه الحالة. أما بالنسبة للجدران المرتفعة، فقد تكون جدران الأكتاف الاستنادية هي الأقل كلفة في هذه الحالة (الشكل 5.6).

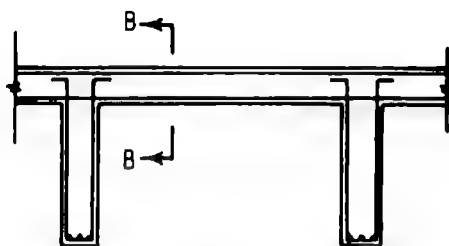


(a) مخطط العزم (b) مقطع جدار نموذج

الشكل 5.5 جدار استنادي ظفري. (a) مقطع شاقولي يُبين فولاذ التسليح الرئيسي المتوضع شاقولياً في الجذع. (b) مخطط العزم



(a) المقطع B-B



(a) المقطع A-A

الشكل 5.6 جدار استنادي ذو كتف كتلية. (a) مقطع شاقولي. (b) مقطع أفقي

يمكن أن يتم حساب إجهاد واحدة القص المؤثرة على المقطع الأفقي لجدار استنادي من $v_e = V_1/bd$ ، حيث b هي ثخانة كتف الجدار الاستنادي و d هي المسافة الأفقية من وجه الجدار إلى فولاذ التسليح الرئيسي،

$$V_1 = V - \frac{M}{d} (\tan \theta + \tan \phi)$$

حيث:

V = قوة القص المؤثرة على المقطع.

M = عزم الانعطاف في المقطع.

θ = زاوية الكنتف المواجه للتربة مع الشاقول.

ϕ = زاوية وجه الجدار مع الشاقول.

ومن أجل وجه شاقولي للجدار تكون: $\phi = 0$ و $V_1 = V - (M/d) \tan \theta$.

يمكن أن يؤخذ مقطع القص الحرج، بطريقة تقليدية، على مسافة ترتفع عن القاعدة مساوية إلى $d' \sin \theta \cos \theta$ ، حيث: d' عمق الكنتف على امتداد قمة القاعدة.

Wall Footings

الاساسات (الأقدام) الجدارية

توزع القدم المنتشرة (المنبسطة) تحت الجدار (الشكل 5.7) حولة الجدار أفقياً لمنع الغوص المفرط.

تعمل القدم كظفر، على الجانبين المتقابلين للجدار، واقعة تحت تأثير حملات الجدار نحو الأسفل وضغط التربة نحو الأعلى.

فمن أجل الأقدام الداعمة للحدران البيتونية، يكون المقطع الحرج واقعاً في النقطة الوسطى بين الحافتين الوسطيتين للجدار. إذن، بالنسبة لشريحة ذات طول 1 قدم (0.305 m) من قدم جدار بيتونية متناظرة ومحملة بشكل متناظر، يكون العزم الأعظمي مقدراً بـ $(N.m)$ ft.lb:

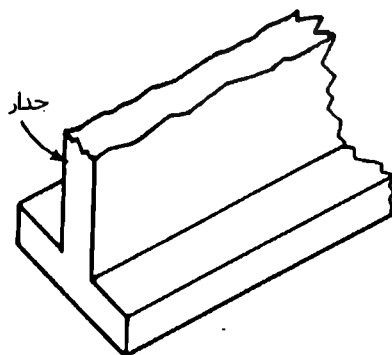
$$M = \frac{p}{8}(L-a)^2$$

حيث:

p = الضغط المنتظم على التربة، $(Pa) lb/ft^2$.

L = عرض القدم، $(m) ft$.

a = ثخانة الجدار، $(m) ft$.



الشكل 5.7 قدم جدار بيتونية

إذا كانت القدم عميقة إلى حد كاف بحيث أن إجهاد الانعطاف الشدي يساوي $6 M/t^2$ ، حيث M العزم المضروب بأمثال عددية (مركبة عزم) و t عمق القدم مقدرة بـ $in (mm)$ ، ولا يتجاوز المقدار $5\phi\sqrt{f'_c}$ ، حيث f'_c مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28 مقدرة بـ $(MPa) lb/in^2$ و $\phi = 0.90$ ، فلا حاجة لأن تكون القدم مسلحة. أما في حالة كان إجهاد الشد أكبر، فعندها لابد أن تصمم القدم كجائز مُسلح ذي مقطع مستطيل بعرض 12 إنش (305 mm).

يجب أن يتم وضع القضبان باتجاه عرض القدم بقطر 3 إنش (76.2 mm) بدءاً من قاعدة القدم. يُقاس تزايد طول القضيب من النقطة التي يحدث عندها المقطع الحرج بالنسبة للعزم. يمكن أن يتم تصميم الأقدام الجدارية أيضاً وفق نظرية المقاومة الحدية.

6

الصيغ الخاصة بهندسة
المنشآت الخشبية

Timber Engineering Formulas

الترتيبات والمقاييس النظامية للقطع الخشبية

Grading Of Lumber

تتألف الألواح والقطع الخشبية (المنشورة)، الخاضعة لإجهادات نظامية، من الأصناف الثلاث التالية:

1. الجيزان والعوارض الطولانية. وهي عبارة عن قطع خشبية ذات مقطع عرضي مستطيل بشخانة 5 in (127 mm) أو أكثر وبعرض 8 in (203 mm) أو أكثر، نظامية بما يخص مقاومتها للانعطاف في حال تحميلها على وجهها الضيق.
2. العوارض الرقيقة والألواح الطولانية. وهي عبارة عن قطع خشبية مستطيلة المقطع العرضي بشخانة تبدأ من 2 in (50.8 mm)، ولا تتضمنها، إلى ثخانة 5 in (127 mm) وبعرض 4 in (102 mm) أو ما يزيد عنه، مُعدّة نظامياً بما يخص مقاومتها للانعطاف عندما تُحمّل، إمّا على الوجه الضيق كعارضة طولانية نخيلة، وإمّا على وجهها العريض كألواح طولانية حاملة.
3. الدعامات والقوائم الحاملة (المورينات). هي قطع خشبية ذات مقطع عرضي مربع أو قريب من المربع بعداه 5 × 5 in (127 × 127 mm) أو أكبر، مُعدّة نظامياً، وبصورة مبدئية، لأن تُستخدم كدعامات أو كأعمدة تحمل حمولة طولانية (كالجيزان)، إلا أنّها معدّلة لعدة استخدامات لا تكون فيها مقاومتها على الانعطاف أهمية تُذكر.

تُطبّق واحدة الإجهادات المسموحة على حالة التحميل التي تكون فيها القطع الخشبية نظامية فقط.

Size Of Lumber

قياسات القطعة الخشبية

يتم اختيار القطعة الخشبية المسند إليها مهمة ما عن طريق قياساتها الاسمية عادةً.

فقياس القطعة الخشبية اللا مسواة (غير المسحوجة) هو نفس قياسها الاسمي، بينما أبعاد القطعة الخشبية المسواة أو المسحوجة تكون أصغر بـ $\frac{3}{8}$ إلى $\frac{1}{2}$ in (من 9.5 إلى 12.7 mm).

وقد وُضِّحت خصائص قياسات بضعة قطع خشبية نظامية منتقاة، مع الصيغ المتعلقة بهذه الخصائص، في الجدول 6.1.

Bearing

التحميل

واحدات الإجهادات المسموحة، بما يخص الضغط العمودي على الليف الخشبي تُطبَّق على تحميل من أي امتداد كان عند أطراف الجيزان وتُطبَّق على تحميل بامتداد 6 in (152.4 mm) أو ما يزيد في الأماكن المتبقية من الجيزان. وعند حساب مساحة التحميل المطلوبة في أطراف الجيزان يجب ألا يتم حساب هذه المساحة بالاستناد على حقيقة أن الجائز ينحني (ينعطف) بل بالاستناد على حقيقة أن الضغط المؤثر فوق الحافة أو الحد الداخلي للتحميل أكبر من ذلك الضغط المؤثر عند أطراف الجائز. وبالنسبة لتحميل يمتد بطول أقل من 6 in (152.4 mm) ويتعد بـ 3 in (76.2 mm) على الأقل (أدنى اقتراب) من طرف أو من نهاية العنصر، عندئذ يتوجب على الإجهاد المسموح الخاص بالضغط العمودي على الليف الخشبي أن يُعدَّل بمعدِّل بجذائه بالعامل $1/(1+\frac{3}{8})$ ، حيث، 1: هو طول التحميل بالإنشات (بالميليمترات) مقاساً على امتداد الليف الطولاني للخشب.

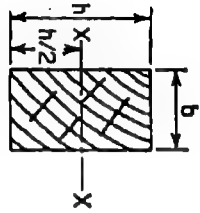
Beams

الجيزان

إن الإجهاد في الليف الأبعد الناتج عن الانعطاف في جائز خشبي ذي مقطع مستطيل هو:

$$f = 6 M/bh^2$$

$$= M/S$$



الجدول 6.1 مواصفات قياسات المقاطع العرضية للقطع الخشبية النظامية. (تم إعطاء القياسات المسورة (SAS) وعزم العطالة وعامل القطع بالنسبة للمحور xx وبأبعاد b و h وفق ما هو مبين بالقطع العرضي)

القياس الاسمي	القياس النظامي SAS	مساحة المقطع $A = bh^2$	عزم العطالة $I = \frac{bh^3}{12}$	معامل المقطع $S = \frac{bh^2}{6}$	عدد وحدات الحجم القديم بالقدم الطولي من القطعة الخشبية
b	h	b	h	h	$2/3$
2×4	$1\frac{5}{8} \times 3\frac{5}{8}$	5.89	6.45	3.56	$2/3$
2×6	$1\frac{5}{8} \times 5\frac{1}{2}$	8.93	22.53	8.19	1
2×8	$1\frac{5}{8} \times 7\frac{1}{2}$	12.19	57.13	15.23	$1\frac{1}{3}$

المصدر: National Lumber Manufacturers Association.

* واحدة الحجم القديم: واحدة قياس أمريكية لحجم لوح من الخشب أبعاد $12 \times 12 \times 1$ inches. (القدم)

وفترض أن للجائز ذي المقطع الدائري نفس مقاومة انعطاف الجائز المربع الذي له نفس مساحة المقطع العرضي الدائري.

إجهاد القص الأفقي في جائز خشبي مستطيل هو:

$$H = 3 V / 2bh \quad (6.1)$$

الجائز الخشبي المستطيل الذي فيه ثلم في الوجه السفلي عند طرفه، يكون إجهاد القص الأفقي فيه:

$$H = (3V / 2bd_1) (h / d_1) \quad (6.2)$$

ويقوم التغير التدريجي في المقطع، عوضاً عن الثلم المربع، بإنقاص إجهاد القص، تقريباً، إلى ذلك الإجهاد المحسوب بالنسبة للعمق الفعلي فوق الثلم.

يتم توضيح الرموز الحرفية في المعادلات السابقة كالتالي:

f = إجهاد الليف الأقصى، (MPa) lb/in².

M = عزم الانعطاف، (Nm) lb.in.

h = عمق الجائز، (mm) in.

b = عرض الجائز، (mm) in.

S = عامل المقطع (= $\frac{bh^2}{6}$ بالنسبة للمقطع المستطيل)، (mm³) in³.

H = إجهاد القص الأفقي، (MPa) lb/in².

V = القص الإجمالي، (N) lb.

d_1 = عمق الجائز فوق الثلم، (mm) in.

يجب أن يؤخذ الجواز، في الجيزان البسيطة، مساوياً للمسافة من الوجه إلى الوجه للمسندين زائد نصفاً طول التحميل المطلوب عند كل مسند من المسندين.

ويجب أن يؤخذ طول الجناز، في الجيزان المستمرة، مساوياً للمسافة بين مركزي التحميل فوق المسندين.

عندما تقوم بتعيين V ، قم بحذف جميع الحمولات الواقعة على مسافة، من أحد المسندين، تساوي إلى عمق الجناز.

في حالة التدرج الإجهادي على جيزان ذات مقطع مليم، يكون قد تم تحديد التسامحات الخاصة باختبارات المقاطع وانفصال الأطراف والتشققات في حالة الإجهادات الواحدة المخصصة لذلك. فعلى مثل هذه العناصر لا تُعين المعادلة (6.1) مقاومة القص الفعلية بسبب إعادة توزيع إجهاد القص الذي يحدث في الجيزان المختبرة. حيث يتوجب، في الجناز ذي المقطع المليم الذي لا يتحدد باستخدام المعادلة (6.1) وكذا قيم H المعطاة من خلال البيانات المنشورة بالنسبة لحالة الإجهادات الواحدة المسموحة، أن يتم تعديل رد الفعل V' المعين وفق ما هو موضح آنفاً:

من أجل الحمولات المركزة:

$$V^I = \frac{10P(1-x)(x/h)^2}{9[2+(x/h)^2]} \quad (6.3)$$

من أجل التحميل المنتظم،

$$V^I = \frac{w}{2} \left(1 - \frac{2h}{l} \right) \quad (6.4)$$

l = مجاز الجناز، in (mm).

P = الحمولة المركزة، lb (N).

V^I = القص الإجمالي المعدل للمسد، lb (N).

w = الحمولة الإجمالية الموزعة بانتظام، lb (N).

x = المسافة بدءاً من رد الفعل إلى الحمولة المركزة، in (mm).

يجب أن تُستبدل قيم V' من المعادلتين (6.3) و (6.4) بـ V في المعادلة (6.1) ويجب أن تُختبر قيم H الناتجة المقابلة لتلك المعطاة في جداول إجهادات الواحدة المسموحة الخاصة بحالة التحميل الموازية للليف الخشبي. كما يتوجب أن يتم تعديل مثل هذه القيم بالنسبة لفترة التحميل.

Columns

الأعمدة

إجهاد الواحدة المسموح على الأعمدة الخشبية المؤلفة من قطعة خشبية واحدة أو مجموعة من القطع المتصقة ببعضها لتشكل عنصراً واحداً هو:

$$\frac{P}{A} = \frac{3.619E}{(l/r)^2} \quad (6.5)$$

وتصبح هذه الصيغة من أجل الأعمدة ذات المقطع المربع أو المستطيل:

$$\frac{P}{A} = \frac{0.30E}{(l/d)^2} \quad (6.6)$$

وتصبح الصيغة من أجل الأعمدة ذات المقطع الدائري:

$$\frac{P}{A} = \frac{0.22E}{(l/d)^2} \quad (6.7)$$

قد لا يتجاوز إجهاد الواحدة المسموح P/A إجهاد الضغط المسموح c .

يجب ألا تتجاوز النسبة l/d القيمة 50. وتخضع قيم P/A إلى فترة حمولة التعديل المعطاة سابقاً.

الرموز الحرفية في المعادلات من (6.5) إلى (6.7) هي:

P = الحمولة الإجمالية المسموحة، (N) lb.

A = مساحة مقطع العمود العرضية، in^2 (mm²).

c = إجهاد الواحدة المسموح في حالة الضغط الموازي للليف الخشبي، lb/in^2 (MPa).

d = بعد الضلع الأصغر للعمود، in (mm).

l = الطول غير المسنود للعمود بين نقاط الاستناد الطرفية، in (mm).

E = عامل المرونة، lb/in^2 (MPa).

r = نصف قطر الدوران الأصغر للعمود، in (mm).

وفي حالة العناصر المحملة مثل الأعمدة، تُعطى إجهادات الواحدة المسموحة المتعلقة بالتحميل على الليف الطرقي (الموازي للليف) ضمن البيانات المنشورة من قبل جمعيات الأخشاب. تطبق هذه الإجهادات المسموحة بشرط وجود استناد جانبي كافٍ ومقاطع طرفية مربعة تماماً ومتوازية فيما بينها. وعندما تتجاوز الإجهادات 75 % من القيمة المعطاة يجب أن يكون التحميل على صفيحة معدنية محتضنة بإحكام. تُطبق هذه الإجهادات تحت شروط دائمة الجفاف، ويجب أن تختزل بـ 27 % بالنسبة للصفائح الخشبية المملوكة ببعضها وكذا بالنسبة للأخشاب ذات الشخانة 4 إنش (102 mm) أو الأقل، ويجب أن تختزل بـ 9 % بالنسبة للأخشاب المقطوعة بشخانة تزيد عن 4 إنش (102 mm) وكذا بالنسبة للأخشاب المعرضة للمناخ الخارجي.

الانعطاف المركب والحمولة المحورية

Combined Bending And Axial Load

العناصر الخاضعة لانعطاف مركب وحمولة محورية يجب أن تكون متناسبة بحيث تتحقق المتراجحة:

$$P_d/P + M_d/M < 1 \quad (6.8)$$

حيث :

P_u = الحمولة المحورية الإجمالية على العنصر ، lb (N).

P = الحمولة الإجمالية المسموحة المحورية ، lb (N).

M_u = عزم الانعطاف الإجمالي على العنصر ، lb in (Nm).

M = عزم الانعطاف الإجمالي المسموح ، lb in (Nm).

الضغط الذي يصنع زاوية مع الليف الخشبي

Compression At Angle To Grain

يساوي إجهاد الضغط الواحد المسموح ، عندما تصنع الحمولة زاوية مع الليف ، إلى :

$$c' = c (c_{\perp}) / [c (\sin\theta)^2 + (c_{\perp}) (\cos\theta)^2] \quad (6.9)$$

حيث :

c' = إجهاد الواحدة المسموح الذي يصنع زاوية مع الليف الخشبي ، lb/in² (MPa).

c = إجهاد الواحدة المسموح الموازي للليف الخشبي ، lb/in² (MPa).

c_{\perp} = إجهاد الواحدة المسموح العمودي على الليف الخشبي ، lb/in² (MPa).

θ = الزاوية بين اتجاه الحمولة واتجاه الليف الخشبي.

توصيات مخابر المنتجات الحراجية

Recommendations Of The Forest Products Laboratory

يعطي الكتاب العملي المساعد في هندسة المنشآت الخشبية الإرشادات والنصائح في

كيفية تصميم الأعمدة الخشبية الكتيمة (المليئة)؛

(Wood Handbook, USDA Forest Products Laboratory, Madison, Wisc, 1999.)

تنقسم الأعمدة إلى ثلاثة أصناف، قصيرة ومتوسطة وطويلة.

تكن K ترمز إلى البارامتر (وسيط) المعروف بالمعادلة:

$$K = 0.64 \left(\frac{E}{f_c} \right)^{1/2} \quad (6.10)$$

إن مجال أمثال النحافة والإجهاد المسموح المخصص لكل صنف تُعطى وفق ما يلي:
في العمود القصير:

$$\frac{L}{d} \leq 11 \quad f = f_c \quad (6.11)$$

في العمود المتوسط الطول:

$$11 \leq \frac{L}{d} \leq k \quad f = f_c \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L/d}{K} \right)^4 \right] \quad (6.12)$$

في العمود الطويل:

$$\frac{L}{d} > K \quad f = \frac{0.274E}{(L/d)^2} \quad (6.13)$$

وتثبت القيمة العظمى للنسبة L/d عند 50.

تغطي مواصفات التصميم الدولية تصميم الأعمدة المليئة. ويكون الإجهاد المسموح في المقطع المستطيل كما يلي:

$$f \leq f_c \quad \text{مع} \quad f = \frac{0.30E}{(L/d)^2} \quad (6.14)$$

الرموز الحرفية في المعادلات السابقة تعطى وفق النظام الدولي كما يلي:

P = الحمولة المسموحة.

A = مساحة المقطع.

L = الطول اللامقوى.

d = البعد الأصغر في المقطع المستطيل.

E = عامل المرونة.

f_c = إجهاد الضغط المسموح الموازي للليف في عمود قصير من نوع مفروض.

f = إجهاد الضغط المسموح الموازي للليف في العمود المفروض.

الضغط على مستوي مائل Compression On Oblique Plane

لنعتبر أن عنصراً خشبياً يعبأ بقوة ضاغطة وفق اتجاه فعل يصنع زاوية مائلة مع الليف الخشبي. ولتكن:

P = إجهاد الضغط المسموح الموازي للليف.

Q = إجهاد الضغط المسموح الناطمي على الليف.

N = إجهاد الضغط المسموح المائل على الليف.

θ = الزاوية بين اتجاه الإجهاد N واتجاه الليف.

عن طريق معادلة هانكينسون (Hankinson's equation) نجد:

$$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta} \quad (6.15)$$

في الشكل 6.1، يجب أن يُثلم العنصر M_1 عند الوصلة لتجنب إزالة مساحة زائدة عن الضرورة من العنصر M_2 . فإذا ما تم قطع العنصر بهذه الطريقة التي يصنع فيها الضلعان AC و BC زاوية $\phi/2$ مع المستويين الشاقوليين والأفقيين على التوالي، فسوف تتطابق ضغوطات التحميل المسموحة عند هذه الأوجه بالنسبة للعنصرين. لتكن:

$A =$ المساحة المقطعية للعنصر (مساحة المقطع العرضي) M_1 .

$f_1 =$ الضغط عند الطرف AC.

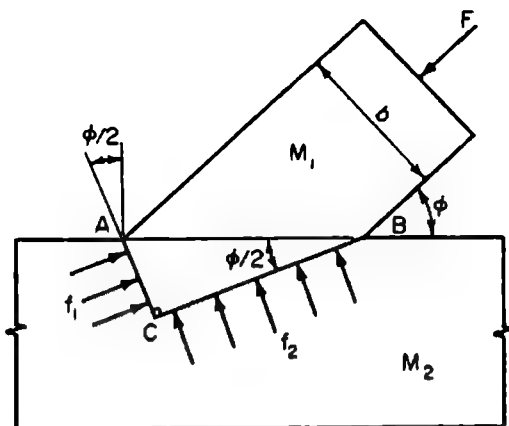
$f_2 =$ الضغط عند الطرف BC.

يمكن أن يُبين بسهولة أن:

$$AC = b \frac{\sin(\phi/2)}{\sin\phi} \quad ; \quad BC = b \frac{\cos(\phi/2)}{\sin\phi} \quad (6.16)$$

$$f_1 = \frac{F \sin\phi}{A \tan(\phi/2)} \quad ; \quad f_2 = \frac{F \sin\phi \tan(\phi/2)}{A} \quad (6.17)$$

هذا النوع من الوصلات غالباً ما يستخدم في الجيزان الشبكية الخشبية.



الشكل 6.1 وصلة خشبية.

عوامل التعديل الخاصة بقيم التصميم

Adjustment Factors For Design Values

قيم التصميم التي تم الحصول عليها من الطرق المحددة سابقاً يجب أن تضرب بعوامل تعديل تستند على شروط الاستخدام والشروط الهندسية وشروط الاستقرار.

إن عوامل التعديل عوامل تراكمية ما لم يتم تعيينها بطريقة مميزة وخاصة وفق ما يلي:
تُعطى قيمة التصميم المعدلة F_b ، بالنسبة لانعطاف الليف الأبعد، بالعلاقة:

$$F_b = F_b C_D C_M C_t C_L C_F C_V C_{Ia} C_r C_c C_i \quad (6.18)$$

حيث:

F_b = القيمة التصميمية لانعطاف الليف الأبعد.

C_D = عامل فترة التحميل.

C_M = عامل الخدمة الرطب.

C_t = عامل درجة الحرارة.

C_L = عامل استقرارية الجائز.

C_F = عامل القياس القابل للتطبيق فقط على العناصر المرونية من الأخشاب المستديرة والقطع الخشبية المقطوعة المتدرجة (المنتظمة) ظاهرياً.

C_V = عامل الحجم - قابل للتطبيق فقط على جيزان مؤلفة من صفائح ملصوقة ببعضها.

C_{Ia} = عامل استخدام السطح - قابل للتطبيق فقط على جيزان خشبية ذات أبعاد من 2 إلى 4 إنش (50.8 إلى 101.6 ميليمتر) في الشحانة وعلى جيزان ذات صفائح ملصوقة ببعضها.

C_r = عامل العنصر التكراري - قابل للتطبيق فقط على جيزان خشبية ذات أبعاد من 2 إلى 4 إنش (50.8 إلى 101.6 ميليمتر) في الشخانة.

C_e = عامل الانحناء - قابل للتطبيق فقط على الأجزاء المنحنية من الجيزان ذات الصفائح الملتصقة ببعضها.

C_i = عامل الشكل.

وبما يخص الجيزان ذات الصفائح الملتصقة ببعضها، استخدم إما C_L أو C_V (أيهما أصغر) وليس كليهما.

تُعطى قيمة التصميم المعدلة في حالة الشد F_t' بالعلاقة؛

$$F_t' = F_t C_D C_M C_i C_F \quad (6.19)$$

حيث:

F_t هي قيمة التصميم الخاصة بالشد.

وتُحسب قيمة التصميم المعدلة في حالة القص F_v من:

$$F_v' = F_v C_D C_M C_i C_H \quad (6.20)$$

حيث F_v هي قيمة التصميم الخاصة بالقص و C_H عامل إجهاد القص $1 \leq$ ، مقبول أو مسموح فقط بالنسبة لـ F_v الموازية للليف عناصر القطع الخشبية المنشورة.

يتم الحصول على قيمة التصميم المعدلة $F_t' \perp$ الخاصة بالضغط المتعامد مع الليف الخشبي من:

$$F_t' \perp = F_t \perp C_M C_i C_b \quad (6.21)$$

حيث: $F_t \perp$ قيمة التصميم الخاصة بالضغط المتعامد مع الليف الخشبي و C_b عامل مساحة التحميل.

أما بما يخص قيمة التصميم المعدلة F'_c العائدة لحالة الضغط الموازي للليف الخشبي فتعطى بـ:

$$F'_c = F_c C_D C_M C_i C_F C_P \quad (6.22)$$

حيث:

F_c قيمة التصميم للضغط الموازي لليف الخشبي و C_P عامل استقرار العمود.
وتُحسب قيمة التصميم المعدلة F'_g العائدة لليف الطرقي في حالة التحميل الموازي لليف الخشبي من:

$$F'_g = F_g C_D C_i \quad (6.23)$$

حيث: F_g قيمة التصميم لليف الطرقي في حالة التحميل الموازي لليف الخشبي.
ويتم الحصول على قيمة التصميم المعدلة الخاصة بعامل المرونة E' من:

$$E' = E C_M C_T C \dots \quad (6.24)$$

حيث:

E = قيمة التصميم الخاصة بعامل المرونة.

C_T = عامل صلابة التحنيب - قابل للتطبيق فقط على قضبان أو أوتار ضغط لجائز شبكي مؤلف من قطع خشبية منشورة، قياس هذه الأوتار أو القضبان 2×4 إنش (50.8×101.6 mm) أو أصغر عندما تكون خاضعة إلى انعطاف مركب وضغط محوري، وكذا قابل للتطبيق فقط على غمد خشبي مؤلف من طبقات سماكته $\frac{3}{8}$ إنش (9.5 mm) أو أكثر ومُسَمَّر على الوجه الضيق.



$C \dots$ = عوامل تعديل أخرى ملائمة.

عوامل القياس والحجم

يجب أن تضرب القيم التصميمية F_b و F_v و F_c من أجل جميع الأصناف والأصناف المركبة ماعدا خشب الصنوبر الجنوبي وذلك بما يخص القطع الخشبية ذات الأبعاد المنتظمة ظاهرياً بعامل القياس المناسب C_F المعطى في البيانات المرجعية لتبيين وتوضيح تأثيرات قياس العنصر. يعتمد هذا العامل والعوامل المستخدمة، لتحسين قيم القياس المميزة لخشب الصنوبر الجنوبي، على معادلة التعديل المعطاة في الجمعية الأمريكية للمواد والتجار (ASTM) D1990. توضح هذه المعادلة المعتمدة على بيانات تجريبية غير منتظمة الفروقات في F_b و F_v و F_c المتعلقة بالعرض وكذا الفروقات في F_b و F_v المتعلقة بالطول (تجربة المجاز).

بما يخص مقاييس القطع الخشبية النظامية ظاهرياً $[5 \times 5$ إنش $(127 \times 127 \text{ mm})$ أو أكبر] وعندما يتجاوز العمق d لجائز طولاني أو دعامة أو قطعة خشبية 12 إنش (304.8 mm) لابد من أن يتم تعديل قيمة تصميم الانعطاف بعامل القياس:

$$C_F = (12/d)^{1/9} \quad (6.25)$$

ويجب أن يتم تعديل قيم تصميم الانعطاف F_b ، بما يخص جيزان الرقائق المملصوقة ببعضها من أجل تأثير الحجم، بضرها بـ:

$$C_v = K_L \left[\left(\frac{21}{L} \right) \left(\frac{12}{d} \right) \left(\frac{5.125}{b} \right) \right]^{1/x} \quad (6.25)$$

حيث:

L = طول الجائز بين نقاط الانعطاف (m).

d = عمق الجائز، in (mm).

b = عرض الجائز، in (mm) = عرض القطعة المعرض في موضع متعدد القطع مؤلف من عدة عروض، وعليه $b \geq 10.75$ إنش (273 mm) .

$x = 20$ بالنسبة لخشب الصنوبر الجنوبي.

$= 10$ بالنسبة لأصناف الخشب الأخرى.

$K_L =$ أمثال شروط التحميل.

ويجب أن تُستخدم، بما يخص الجيزان المؤلفة من قطع ملصوقة ببعضها، القيمة الأصغر لـ C_v أو العامل استقرار الجائز C_L ، عامل استقرار الجائز، وليس كليهما.

الإجهادات القطرية وعامل الانحناء

الإجهاد القطري المُحرَّض أو المُفَعَّل من قبل عزم الانعطاف في عنصر ذي مقطع عرضي ثابت يمكن أن يُحسب من:

$$f_r = \frac{3M}{2Rbd} \quad (6.26)$$

حيث:

$M =$ عزم الانعطاف، (N.m) in.lb

$R =$ نصف قطر الانحناء في خط مركز العنصر، (mm) in.

$b =$ عرض المقطع العرضي، (mm) in.

$d =$ عمق المقطع العرضي، (mm) in.

عندما تكون M وفق الاتجاه الذي ينزاع إلى إنقاص الانحناء (زيادة نصف القطر)، فإن إجهادات الشد تحدث وفق الاتجاه المستعرض للألياف الخشبية. لهذا السبب أو الشرط يكون إجهاد الشد المسموح المستعرض للليف الخشبي محدوداً بثُلث واحدة الإجهاد المسموح في القص الأفقي لأخشاب الصنوبر الجنوبي من أجل جميع شروط التحميل وكذا لأخشاب الشوح دوغلاس (Douglas fir) والأخشاب الراتنجية القاسية من أجل أنواع التحميل الناتجة عن الرياح والزلازل.

ويكون الحد هو 15 lb/in^2 (0.103 MPa) بالنسبة لخشب شوح دوغلاس وخشب الصنوبر القاسي وذلك من أجل أنواع التحميل الأخرى. وتخضع هذه القيم إلى عملية تعديل بما يخص فترة التحميل. وإذا ما تجاوزت هذه القيم حدودها، عندئذٍ لابد من تسليح ميكانيكي كافٍ لمقاومة جميع إجهادات الشد القطرية.

وعندما تكون M وفق الاتجاه الذي ينزاع إلى زيادة الانحناء (نقصان نصف القطر) فإن الإجهاد يكون ضاعطاً عبر الاتجاه المستعرض للألياف الخشبية. وبسبب هذا الشرط، تكون القيمة التصميمية محدودة بقيمة الضغط العمودي على الألياف من أجل جميع الأصناف.

وبما يخص الجزء المنحني للعناصر، فيجب أن تكون القيمة التصميمية للخشب الخاضع للانعطاف معدلة عن طريق جدائها بعامل الانحناء التالي:

$$C_c = 1 - 2000 \left(\frac{1}{R} \right)^2 \quad (6.27)$$

حيث t هي ثخانة الرقيقة (الشريحة) الخشبية مقدرة بـ in (mm) ، و R نصف قطر انحناء الرقيقة مقدراً بـ in (mm) . لاحظ أن $1/R$ يجب ألا تتجاوز $1/100$ من أجل الأخشاب القاسية وأخشاب الصنوبر الجنوبي أو يجب ألا تتجاوز $1/125$ من أجل الأخشاب الطرية وأخشاب الصنوبر الجنوبية الأخرى. يجب ألا يتم تطبيق عامل الانحناء على الإجهاد في الجزء المستقيم من التركيب أو التجميع الخشبي بغض النظر عن الانحناء في الأماكن الأخرى.

عامل مساحة التحميل

تطبق القيم التصميمية للضغط العمودي على الليف الخشبي F_{\perp} على سطوح التحميل من أي طول عند أطراف العنصر وعلى جميع الأحمال الممتدة بطول 6 إنش (152.4 mm) أو أطول عند المواقع الأخرى. وبما يخص الأحمال الممتدة بطول أقل من 6 إنش (152.4 mm) وبحد أدنى بطول 3 إنش (76.2 mm) من طرف العنصر، يمكن أن تُضرب F_{\perp} بعامل مساحة التحميل:

$$C_b = \frac{L_b + 0.375}{L_b} \quad (6.28)$$

حيث L_b طول التحميل مقدراً بـ in (mm) ومقاساً بالاتجاه الموازي للألياف الخشبية.

تعطي المعادلة (6.28) قيم C_b للعناصر ذات المساحات الصغيرة، مثل الصفائح والأطر الخشبية الرقيقة، حيث تم سردها في البيانات المرجعية. وبالنسبة لمساحات التحميل الدائرية، مثل الأطر الخشبية الرقيقة، يجب أن تؤخذ L_b كقطر.

عاملا استقرارية الأعمدة والصلابة التحنيبية

يتم تصميم الضغط الموازي للليف F_t يجب أن تضرب بعامل استقرارية العمود C_p المعطى وفق المعادلة (6.29):

$$C_p = \frac{1 + (F_c E / F_c^*)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_c E / F_c^*)}{2c} \right]^2 - \frac{(F_c E / F_c^*)}{c}} \quad (6.29)$$

حيث:

F_c^* = القيمة التصميمية للضغط الموازي للليف مضروبة بكل عوامل التعديل القابلة للتطبيق ماعدا C_p .

$$\frac{KcE'}{(L_e/d)^2} = F_c E$$

E' = عامل المرونة مضروباً بعوامل التعديل.

$KcE = 0.3$ من أجل قطع خشبية نظامية ظاهرياً وقطع خشبية مُقيمة آلياً.

$= 0.418$ لمنتجات بأمثال تغيّر أقل من 0.11

$c = 0.80$ لقطع خشبية مليئة صلبة، و

$= 0.85$ لركائز خشبية دائرية، و

$= 0.90$ لأخشاب من عدة قطع ملصوقة ببعضها.

وتساوي C_p — 1.0 من أجل عنصر ضغط مُقوى في جميع الاتجاهات على امتداد طوله لمنع الإزاحات الجانبية.

إن صلابة التحنيط، لوتر ضغط في جائز خشبي مؤلف من قطع خشبية خاضعة لمرونة مركبة وضغط محوري تحت شروط خدمة جافة، يمكن أن تتزايد إذا كان الوتر ذا بعد 2×4 إنش ($50.8 \times 101.6 \text{ mm}$) أو أصغر وكان وجهه الضيق مقوّى بغمد خشبي مُسمّر بشخانة $3/8$ إنش (9.5 mm) على الأقل وفق عملية التسمير التطبيقية الجيدة. يمكن أن توضّح الصلابة المتزايدة عن طريق جداء القيمة التصميمية لعامل المرونة E بعامل صلابة التحنيط C_T في عمليات حساب استقرارية العمود.

عندما يساوي طول العمود الفعال L_e إلى 96 إنش (2.38 m) أو أقل، فيمكن أن تحسب C_T من:

$$C_T = 1 + \frac{K_M L_e}{K_T E} \quad (6.30)$$

حيث:

$K_M = 2300$ من أجل خشب مُقسّى ومحتوى رطوبة % 19 أو أقل وذلك في وقت تثبيت الغمد.

$= 1200$ من أجل خشب غير مُقسّى أو مقسّى جزئياً عند وقت تثبيت الغمد.

$K_T = 0.59$ من أجل قطع خشبية منتظمة ظاهرياً وكذا من أجل قطع خشبية مقيمة آلياً.

$= 0.82$ من أجل منتجات خشبية بأمثال تغيّر تساوي 0.11 أو أقل.

حيث L_e أكبر من 96 إنش (2.38 m)، C_T يجب أن تحسب من المعادلة (6.30) مع $L_e = 96$ إنش (2.38 m).

بما يخص المعلومات الإضافية عن الجيزان الشبكية الخشبية المزودة بوصلات صفائح معدنية يمكن العودة إلى مقاييس التصميم النظامية العائدة إلى .Truss Plate Institute, Madison, Wisconsin.

يُعرف أمثال الحافة للجيزان بـ:

$$R_{B_{\text{edge}}} = \sqrt{\frac{L_e d}{b^2}} \quad (6.31)$$

ويجب ألا يتجاوز أمثال الحافة القيمة 50.

يُعطى الطول الفعال L_e في المعادلة (6.31) عن طريق الطول اللا مسنود للجائز في البيانات المرجعية. والطول اللا مسنود هو المسافة بين المساند أو طول الظفر عندما يكون الجائز مقوى جانبياً عند المساند لمنع الدوران وليس هناك أي تقوية كافية في مكان آخر في الجائز. وعندما يُمنع كل من الدوران والإزاحة الجانبية عند النقاط المتوسطة أيضاً، فيمكن أن يؤخذ الطول اللا مسنود كمسافة بين نقاط المساند الجانبية. إذا كانت الحافة المضغوطة مسنودة على امتداد طول الجائز وتم تثبيت تقوية كافية عند المساند، فإن الطول اللا مسنود يساوي الصفر.

يمكن أن يُحسب عامل استقرار الجائز C_L من:

$$C_L = \frac{1 + (F_{bE} / F_b^*)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{bE} / F_b^*)}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE} / F_b^*}{0.95}} \quad (6.32)$$

حيث:

F_b^* = القيمة التصميمية للانعطاف مضروبة بجميع عوامل التعديل القابلة للتطبيق، باستثناء C_u و C_v و C_w .

$$\frac{K_{bE} E'}{R_B^2} = F_{bE}$$

$K_{bE} = 0.438$ من أجل قطع خشبية نظامية ظاهرياً وكذا لقطع مقيمة ألياً.

$= 0.609$ لمنتجات خشبية بأمثال تغير 0.11 أو أقل.

$E' =$ عامل تصميم المرونة مضروباً بعوامل التعديل القابلة للتطبيق.

Fastener For Wood

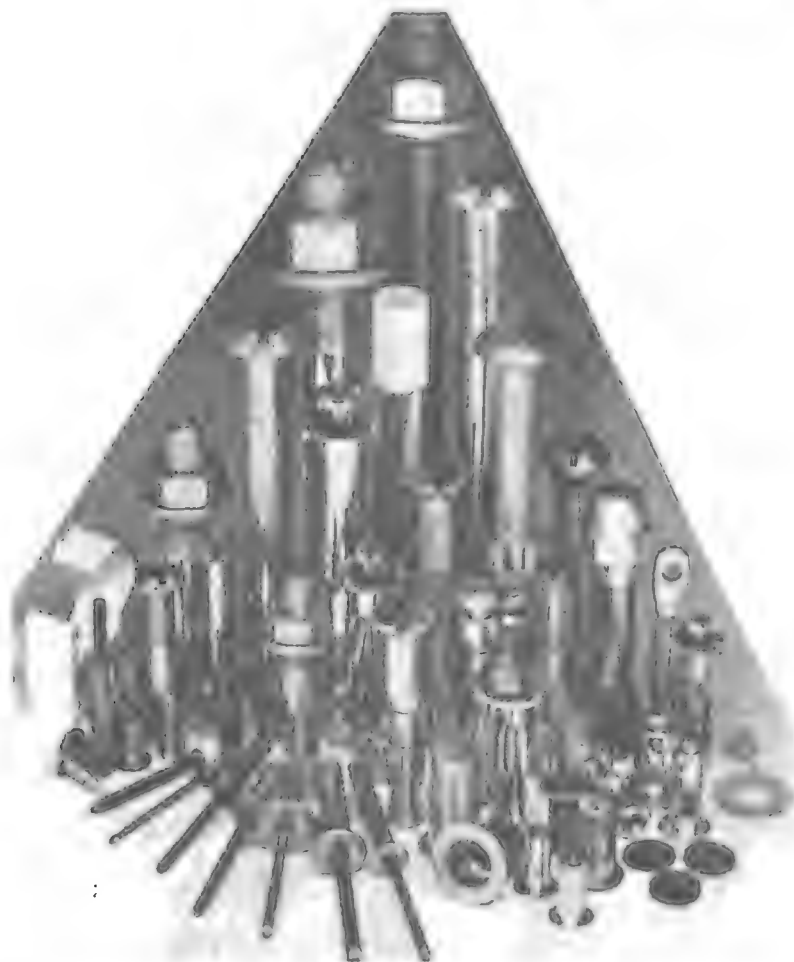
مثبتات (براغي ومسامير) الخشب

المسامير والمسامير الطويلة (الشوكات المعدنية)

حمولة السحب (حمولة قلع المسمار من مكانه) المسموحة بالإنش الواحد (25.4 mm) لاختراق مسمار عادي أو شوكة معدنية غائصة وفق الاتجاه الطرقي للليف (بشكل عمودي على الليف) لخشب مُقسى أو للخشب اللا مقسى الذي يبقى رطباً، تساوي:

$$p = 1,380 G^{5/2} D \quad (6.33)$$

نماذج من المثبتات الخشبية والمعدنية



مفيد أن نذكر هنا أنه في اللغة الانكليزية يوجد لكل نموذج من هذه المثبتات تسمية خاصة به. (المعدن)

حيث

p = الحمولة المسموحة بالإنش (mm) للاختراق ضمن عنصر يتلقى نقطة تحميل،
(N) lb.

D = قطر المسمار أو الشوكة، (mm) in.

G = الوزن النوعي للخشب، المجفف بالفرن.

وتكون الحمولة الإجمالية الجانبية المسموحة لمسمار أو شوكة غائصة في الاتجاه العمودي على الليف للخشب مُقَسَّى:

$$p = C D^{3/2} \quad (6.34)$$

حيث:

p = الحمولة المسموحة بالمسمار أو بالشوكة (N) lb.

D = قطر المسمار أو الشوكة، (mm) in.

C = أمثال تعتمد على رقم زمرة الخشب (انظر الجدول (6.1)).

وقيم C الخاصة بالزمر الأربعة التي يتم فيها تصنيف إجهادات العناصر الخشبية المنتظمة هي:

الزمرة I: $C = 2,040$

الزمرة II: $C = 1,650$

الزمرة III: $C = 1,350$

الزمرة IV: $C = 1,080$

تُطبَّق الحمولات مكان اختراق المسمار أو الشوكة في العنصر الذي تستوعب نقطة التحميل فيه 10 أقطار على الأقل بالنسبة لأصناف الزمرة I و 11 قطر بالنسبة

لأصناف الزمرة II و 13 قطر بالنسبة لأصناف الزمرة III و 14 قطر بالنسبة لأصناف الزمرة IV. وتكون الحمولات المسموحة بالنسبة لاختراقات عددها أقل متناسبة مباشرة مع مقدار الاختراق، إلا أن الاختراق يجب أن يكون على الأقل مساوياً لثلث الاختراق المفترض.

* البراغي (المسامير الحلزونية) الخشبية

حمولة السحب المسموحة بالإنش (mm) لاختراق الجزء المفتوح فيه شرار من البراغي في الاتجاه العمودي على الليف للخشب المُقَسَّى الذي يبقى جافاً هي:

$$p = 2,850 G^2 D \quad (6.35)$$

حيث

p = الحمولة المقبولة بالإنش (mm) لاختراق الجزء المفتوح فيه شرار في العنصر الذي يستقبل نقطة التحميل، (N) Ib.

D = قطر البراغي الخشبي، (mm) in.

G = الثقل النوعي للخشب المجفف بالفرن (انظر الجدول 6.1).

يجب ألا يُحمَل البراغي الخشبية بحمولة سحب بدءاً من طرف الليف الخشبي.

الحمولة الجانبية المسموحة للبراغي الخشبية الغائصة في الاتجاه العمودي على ليف الخشب المُقَسَّى الذي يبقى محافظاً على جفافه هي:

$$p = CD^2 \quad (6.36)$$

حيث

p = الحمولة المسموحة بالبراغي الخشبي الواحد، (N) Ib.

* من البديهي أن يتأثر للدهن بتعبير "البراغي أو المسامير الخشبية" أنها مخصصة للاستخدام في المنشآت الخشبية وليس براغي أو مسامير مصنوعة من الخشب.

D = قطر البرغي الخشبي، (mm).

C = أمثال عددي يعتمد على رقم زمرة الخشب (الجدول 6.2).

الجدول 6.2 الوزن النوعي ورقم الزمرة لأصناف شائعة من القطع الخشبية.

الأصناف	رقم الزمرة	G الوزن النوعي	G^2	$G^{3/2}$
تنوب دوغلاس	II	0.51	0.260	0.186
صنوبر جنوبي	II	0.59	0.348	0.267
شوكران غربي	III	0.44	0.194	0.128
شوكران شرقي	IV	0.43	0.185	0.121
صنوبر نرويجي	III	0.47	0.221	0.151
خشب أحمر	III	0.42	0.176	0.114
خشب أبيض	IV	0.41	0.168	0.108

وقيم C المتعلقة بالزمر الأربع التي يكون فيها إجهاد العنصر منتظماً تُصنف وفق:

$$\text{الزمرة I: } C = 4,800$$

$$\text{الزمرة II: } C = 3,960$$

$$\text{الزمرة III: } C = 3,240$$

$$\text{الزمرة IV: } C = 2,520$$

وتكون قيمة الحمولة الجانبية المسموحة للبراغي الخشبية الغائصة في طرف الليف مساوية لثلاثي قيمة الحمولة المسموحة للبراغي الغائصة بشكل عمودي على الليف.

تعديل قيم التصميم للوصلات المزودة بمثبتات (مسامير وبراعي)

Adjustment Of Design Values For Connections With Fasteners

يجب أن يتم ضرب قيم التصميم الاسمية، للوصلات أو للعناصر الخشبية المزودة بمثبتات (براغي ومسامير)، بعوامل التعديل القابلة للتطبيق المتاحة من قبل جمعيات الأخشاب ومراجع كتب الهندسة المدنية المساعدة من أجل الحصول على قيم التصميم المعدلة. ويمكن أن تُقسم أنواع التحميل على المثبتات إلى أربعة صفوف:

التحميل الجانبي والتحميل السحي والتحميل الموازي للليف الخشبي والتحميل العمودي عليه.

وقد تم إعطاء قيم التصميم المعدلة باستخدام قيم التصميم الاسمية وعوامل التعديل في المعادلات اللاحقة. وتستخدم المتحولات التالية في المعادلات:

$Z' =$ قيمة التصميم المعدلة للتحميل الجانبي.

$Z =$ قيمة التصميم الاسمية للتحميل الجانبي.

$W' =$ قيمة التصميم المعدلة للتحميل السحي.

$W =$ قيمة التصميم الاسمية للتحميل السحي.

$P' =$ القيمة المعدلة للتحميل الموازي للليف.

$P =$ القيمة الاسمية للتحميل الموازي للليف.

$Q' =$ القيمة المعدلة للتحميل الناطمي على الليف.

$Q =$ القيمة الاسمية للتحميل الناطمي على الليف.

من أجل الوصلات بالبراغي

$$Z' = Z C_D C_M C_i C_g C_\Delta$$

حيث

C_D = عامل فترة التحميل، ولا يتجاوز 1.6 للوصلات.

C_M = عامل الخدمة الرطب، غير قابل للتطبيق على المسامير المائلة المحملة بحمولة سحب.

C_i = عامل درجة الحرارة.

C_g = عامل فعل الزمرة.

C_Δ = العامل الهندسي.

من أجل وصلات بالحلقة المنفلقة والصفيحة القصية

$$P' = P C_D C_M C_i C_g C_A C_d C_{\Delta}$$

$$Q' = Q C_D C_M C_i C_g C_\Delta C_d$$

حيث: C_d عامل عمق الاختراق و C_{Δ} عامل الصفيحة المعدنية الجانبية.

من أجل الوصلات بالمسامير والمسامير الحلزونية (المفتوح فيها شرار)

$$W' = W C_D C_M C_i C_{in}$$

$$Z' = Z C_D C_M C_i C_d C_{eg} C_{di} C_{in}$$

حيث

C_{di} = عامل الارتفاق (الترقق).

C_{in} = عامل المسامير المائل.

من أجل وصلات بالبراغي الخشبية

$$W' = W C_D C_M C_t$$

$$Z' = Z C_D C_M C_t C_d C_{eg}$$

حيث: C_{eg} = عامل الليف الطرقي.

من أجل وصلات ببراغي كبيرة

$$W' = W C_D C_M C_t C_{eg}$$

$$Z' = Z C_D C_M C_t C_g C_{\Delta} C_d C_{eg}$$

من أجل وصلات بصفيحة معدنية

$$Z' = Z C_D C_M C_t$$

من أجل وصلات بدسّر (شوكات معدنية) ثقب ومسامير ثقب

$$W' = W C_D C_M C_t C_{eg}$$

$$Z' = Z C_D C_M C_t C_g C_{\Delta} C_d C_{eg}$$

من أجل وصلات بشبكة من الشوك المعدنية

$$Z' = Z C_D C_M C_t C_{\Delta}$$

إمالة (تميل) السقف لمنع تكون برك الماء**Roof Slope To Prevent Ponding**

يجب أن يكون للحيزان السقفية ميلان مستمر نحو الأعلى يكافئ 1/4 إنش/قدم (20.8 mm/m) بين المصرف وأعلى نقطة في السقف، بالإضافة إلى إحداثاب

أصغري موصى به لتجنب تجمع المياه. عندما لا يكون للأسقف المسطحة ميلان كافٍ للتصريف (أقل من 1/4 ft/in) فلا بد أن يكون للعناصر الحاملة قساوة بحيث لا تُسبب حمولة موزعة مقدارها 5 lb/ft^2 (239.4 N/mm^2) تشوهاً يزيد عن $\frac{1}{2}$ إنش (12.7 mm).

بسبب تكون البرك أو الحمولات الثلجية أو الماء المحتجز بالمصدات الحصوية تقوم جدران الحجز أو الإغلاقات الجليدية المتشكلة بتضخيم الإجهادات والتشوهات، عن طريق تكون حمولات سقفيه، بالمقدار:

$$C_p = \frac{1}{1 - W'L^3 / \pi^4 EI}$$

حيث:

C_p = عامل خاص بجداء الإجهادات والتشوهات تحت تأثير الحمولات الموجودة لتعيين الإجهادات والتشوهات تحت تأثير الحمولات الموجودة زائد حمولات تكون البرك.

W = وزن مساحة واحد إنش (25.4 mm) من الماء على السقف المسنود بالجائز، مقدراً بـ $(N) \text{ lb}$.

L = مجاز الجائز، in (mm).

E = عامل مرونة مادة الجائز، $(\text{MPa}) \text{ lb/in}^2$.

I = عزم عطالة الجائز، in^4 (mm^4).

اعتمدت هذه الفقرة على المصدر:

Kuenzi and Bohannon, "Increases in Deflection and Stresses Caused by Ponding of Water on Roofs," Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.)

الانحناء والشد المحوري Bending And Axial Tension

لا بد للعناصر الخاضعة إلى انحناء مركب وشد محوري أن تكون متناسبة لتحقيق معادلات تبادل الفعل:

$$\frac{f_t}{F_c} + \frac{f_b}{F_b^*} \leq 1$$

و

$$\frac{(f_b - f_t)}{F_b^{**}} \leq 1$$

حيث

f_t = إجهاد الشد الناتج عن الشد المحوري الفاعل بمفرده.

f_b = إجهاد الانحناء الناتج عن عزم الانحناء بمفرده.

F_c = القيمة التصميمية للشد مضروبة بعوامل التعديل القابلة للتطبيق.

F_b^* = القيمة التصميمية للانحناء مضروبة بعوامل التعديل القابلة للتطبيق باستثناء C_L .

F_b^{**} = القيمة التصميمية للانحناء مضروبة بعوامل التعديل القابلة للتطبيق باستثناء C_V .

يمكن أن يستخدم عامل فترة التحميل C_D ، المرتبط مع حمولة الفترة الأقصر في حالة تركيب الحمولات بفترة متفاوتة، لحساب F_c و F_b^* . ويجب أن تُقِيم جميع تركيبات الحمولة القابلة للتطبيق لتعيين تركيب الحمولة الحرجة.

الانحناء والضغط المحوري Bending And Axial Compression

يجب أن تكون العناصر الخاضعة إلى تركيب من الانحناء والضغط المحوري (الأعمدة الجائزية) متناسبة لتحقيق معادلة تبادل الفعل:

$$\left(\frac{f_c}{F'_c} \right)^2 + \frac{f_{b1}}{[1 - (f_c / F_c E_1)] F_{b1}} + \frac{f_{b2}}{[1 - (f_c / F_c E_2) - (f_{b1} / F_{bE})^2] F_{b2}} \leq 1$$

حيث:

f_c = إجهاد الضغط الناتج عن الضغط المحوري الذي يفعل لوحده.

F'_c = القيمة التصميمية للضغط الموازي للليف مضروبةً بعوامل التعديل القابلة للتطبيق، المتضمنة عامل استقرارية العمود.

f_{b1} = إجهاد الانعطاف الخاص بالحمولة المطبقة على الوجه الضيق للعنصر.

f_{b2} = إجهاد الانعطاف الخاص بالحمولة المطبقة على الوجه العريض للعنصر.

F'_{b1} = القيمة التصميمية للانعطاف العائد للحمولة المطبقة على الوجه الضيق للعنصر مضروبةً بعوامل التعديل القابلة للتطبيق، والمتضمنة عامل استقرارية العمود.

F'_{b2} = القيمة التصميمية للانعطاف العائد للحمولة المطبقة على الوجه العريض للعنصر مضروبةً بعوامل التعديل القابلة للتطبيق، والمتضمنة عامل استقرارية العمود.

بما يخص الانعطاف ذا المحور الواحد أو الثنائي المحور، يجب ألا تتجاوز f_c المقدار:

$$F_{cE1} = \frac{K_{cE} E'}{(L_{e1} / d_1)^2}$$

حيث: E' عامل المرونة مضروباً بعوامل التعديل. أيضاً يجب ألا تتجاوز f_c ، العائدة للانعطاف الثنائي المحور، القيمة:

$$F_{cE2} = \frac{K_{cE} E'}{(L_{e2} / d_2)^2}$$

ويجب ألا تزيد f_{b1} عن:

$$F_{bE} = \frac{K_{bE} E'}{R_B^2}$$

حيث: d_1 عرض الوجه العريض و d_2 عرض الوجه الضيق. عامل النحافة R_B للحيزان قد سبق إعطاؤه في هذا المقطع. K_{bE} عُرِّفت في هذا المقطع سابقاً.

طولا العمود الفعَّالان L_{e1} للتحنيب في الاتجاه d_1 و L_{e2} للتحنيب في الاتجاه d_2 ، E' و F_{cE1} و F_{cE2} يجب أن يتم تعيينها وفق ما تمّ توضيحه سابقاً.

وكما هو الحال بالنسبة للانعطاف المركب والشد المحوري، يجب أن يتم تعديل F_c و F'_{b1} و F'_{b2} الخاصة بفترة الحمولة بتطبيق العامل CD.

7

صيغ علم المساحة التطبيقية

Surveying Formulas

Units Of Measurement

واحدات القياس

واحدات القياس التي استخدمت سابقاً وحاضراً في الأعمال المساحية هي:

في الأعمال الإنشائية: القدم والإنشات وأجزاء الإنشات (m , mm).

في معظم الأعمال المساحية: القدم وأعشار القدم $\frac{1}{10}$ ft والأجزاء المئوية من القدم $\frac{1}{100}$ ft وأجزاء الآلاف من القدم $\frac{1}{1000}$ ft (m , mm).

في أعمال مسح شبكة التحكم العائدة للمساحة الجيوديزية القومية NGS: الأمتار و 0.1، 0.01، 0.001 من المتر.

الترادفات الأكثر استخداماً هي:

1 متر = 39.37 إنش (in) (وبدقة يساوي) = 3.2808 قدم (ft).

1 قصبة (rod) = 1 (Pole) = 1 (Perch) = $16\frac{1}{2}$ قدم (ft) (5.029 m).

1 سلسلة هندسية = 100 قدم (ft) = 100 حلقة (30.48 m).

1 سلسلة غنتر (Gunter's chain) = 66 قدم (ft) (20.11 m) = 100 حلقة غنتر (1 k)
= 4 قصبة = $\frac{1}{80}$ ميل (mi) (0.020 km).

1 إيكرا (acre) = 100,000 حلقة (غنتر)² = 43,560 قدم² (ft²) =

= 160 قصبة² (rod²) = 10 سلسلة (غنتر)² = 4046.87 متر² (m²)

= 0.4047 هكتار (ha).

1 رُود (rood) = $\frac{3}{4}$ إيكرا (1011.5 متر²) = 40 قصبة² (rod²).

1 هكتار (ha) = 10,000 متر² (m²) = 107,639.10 قدم² (ft²) = 2.471 إيكرا (acres)

1 آرپان (arpent) = حوالي 0.85 من الأيكتر أو طول ضلع من 1 أربان² (حوالي
3439.1 m²)

1 ميل إنكليزي أو قانوني (statute mi) = 5280 قدم (ft) = 1609.35 متر (m)

1 ميل² (mi²) = 640 إيكترات (acres) = 258.94 هكتار (ha).

1 ميل بحري (U.S.) = 6080.27 قدم (ft) = 1853.248 متر (m).

1 فاذوم (fathom) = 6 قدم (ft) = 1.829 متر (m).

1 ذراع (cubit) = 18 إنش (in) = 0.457 متر (m).

1 فارا (vara) = 33 إنش (في ولاية كاليفورنيا) و $33\frac{1}{3}$ إنش (في ولاية تكساس)

يعني؛ 0.838 متر في كاليفورنيا و 0.851 متر في تكساس.

1 درجة = $\frac{1}{360}$ من قوس الدائرة = 60 دقيقة (min) = 3600 ثانية (s) =

= 0.01745 راديان (rad).

$\sin 1^\circ = 0.01745241$

1 راديان (rad) = $57^\circ 17' 44.8''$ أو حوالي 57.30° .

1 غراد (grad) = $\frac{1}{400}$ قوس دائري = $\frac{1}{100}$ قوس ربع الدائرة = 100 دقيقة مئوية
(100 centesimal min) = 10^4 من التقسيم المئوي الفرنسي.

1 ميل (mil) = $\frac{1}{6400}$ قوس دائري = 0.05625° .

1 خطوة عسكرية (milpace) = $2\frac{1}{2}$ قدم (ft) = 0.762 متر (m).

Theory Of Errors

نظرية الأخطاء

عندما يتم القيام بعدد من القياسات المساحية على نفس الكمية، فلا بد من أن تُحلَّل هذه القياسات بالاستناد على نظرية الاحتمال ونظرية الأخطاء.

بعد أن يتم حذف جميع الأخطاء النظامية (التراكمية)، يتم التحقق من الأخطاء العشوائية (المتكافئة) لتعيين القيمة الأكثر احتمالاً (القيمة المتوسطة) والقيم الحرجة الأخرى. وتتبع معظم هذه القيم الشائعة للصيغ المعينة من نظرية الإحصاء ومن منحني التوزيع الاحتمالي الطبيعي أو ذي الشكل الجرسى لغاوص (Gauss).

الانحراف المعياري لسلسلة من قياسات الرصد يساوي:

$$\sigma_s = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}}$$

حيث:

d = الراسب أو المتبقي (الفرق عن القيمة الوسطى) لقياس رصد واحد و n = عدد قياسات الرصد.

الخطأ المحتمل لقياس رصد واحد فقط هو:

$$PE_s = \pm 0.6745 \sigma_s$$

(الاحتمال الذي سيقع فيه الخطأ ضمن هذا المجال هو 0.50)

الاحتمال الذي سيقع فيه الخطأ بين قيمتين يُعطى بنسبة مساحة منحني الاحتمال المتضمنة بين القيمتين على المساحة الإجمالية. وبقدر ما تكون المساحة الواقعة تحت كامل منحني الاحتمال مساوية للواحدة، يوجد احتمال بنسبة % 100 أن جميع القياسات سوف تقع ضمن مجال المنحني.

مساحة المنحني بين القيمتين $\pm \sigma$ تساوي 0.683، بمعنى، أنه يوجد احتمال بنسبة % 68.3 أن يقع الخطأ بين القيمتين $\pm \sigma_s$ في قياس واحد فقط.

يدعى بحال الخطأ هذا بالسيفما واحد (one-sigma) أو بسوية ثقة % 68.3 أيضاً. مساحة المنحني بين القيمتين $\pm 2\sigma$ تساوي 0.955. وهكذا يوجد احتمال % 95.5 لوقوع الخطأ بين $\pm 2\sigma$ وأن إحدى القيمتين $\pm 2\sigma$ تمثل الخطأ بنسبة % 95.5 (سيفما - اثنان أو سوية ثقة % 95.5). وبطريقة مشابهة، $\pm 3\sigma$ تشير إلى الخطأ بنسبة % 99.7 (سيفما - ثلاثة أو سوية ثقة % 99.7).

بما يخص الأغراض التطبيقية، غالباً ما تفرض سوية التسامح العظمى مساوية إلى خطأ بنسبة % 99.9. يُبين الجدول 7.1 احتمال حدوث الأخطاء الأكبر في قياس واحد.

الجدول 7.1 احتمال الخطأ في قياس واحد فقط.

الخطأ	سوية الثقة، %	احتمال الخطأ الأكبر
المحمل (σ , 0.6745)	50	1 in 2
الانحراف المعياري (σ)	68.3	1 in 3
90 % (σ , 1.6449)	90	1 in 10
2 σ , or 95.5 %	95.5	1 in 20
3 σ , or 97.7 %	99.7	1 in 370
Maximum (3.29 σ)	99.9 +	1 in 1000

الخطأ المحتمل لتأثيرات الأخطاء العرضية المركبة الناتجة عن أسباب مختلفة يُعطى بـ:

$$E_{\text{sum}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \dots}$$

حيث: E_1, E_2, E_3, \dots هي الأخطاء المحتملة للقياسات المستقلة (قياسات منفصلة) خطأ القيمة الوسطية يُعطى بـ:

$$E_m = \frac{E_{\text{sum}}}{n} = \frac{E_s \sqrt{n}}{n} = \frac{E_s}{\sqrt{n}}$$

حيث: E_s = الخطأ المميز لقياس منفرد واحد فقط.

والخطأ المحتمل للقيمة الوسطية هو:

$$PE_m = \frac{PE_s}{\sqrt{n}} = \pm 0.6745 \sqrt{\frac{\sum d^2}{n(n-1)}}$$

قياس المسافة بالأشرطة

Measurement Of Distance With Tapes

الدقات المعقولة لمختلف طرق قياس المسافات هي:

دقة القياس بالخطوة (على أرض ذات تضاريس عادية): $\frac{1}{50}$ إلى $\frac{1}{100}$.

دقة القياس بالشريط (شريط فولاذي عادي): $\frac{1}{1000}$ إلى $\frac{1}{10,000}$ (يمكن تحسين النتائج باستخدام أداة شد ومد استقامات انتقالية (عبور) وأداة تسوية).

دقة القياس بخط القاعدة أو الدليل (شريط من الإنفار): $\frac{1}{50,000}$ إلى $\frac{1}{1,000,000}$.

دقة القياس بالاستاديمتر (Stadia): $\frac{1}{300}$ إلى $\frac{1}{500}$ (مع استخدام إجراءات خاصة)

دقة القياس بالضلع العرضي المقابل (ميرا أفقية): $\frac{1}{1000}$ إلى $\frac{1}{7000}$ (من أجل مسافات قصيرة ودوران مضاعف واحد بالتيدوليت مع متوسط الزوايا المأخوذة من كلا الطرفين).

أضحت أجهزة قياس المسافات الإلكترونية (EDM) قيد الاستخدام منذ منتصف القرن العشرين وقد أخذت مكان القياسات بالشريط الفولاذي على نحو واسع في المشاريع الضخمة. فلقد جعل التطور المستمر والحصول على نتائج متناهية الدقة استخدامها واسعاً. ومهما يكن، تبقى معرفة أخطاء القياس بالشريط الفولاذي

* نذكر مرة أخرى أن الفارزة أو الفاصلة (,) الموجودة بين الأرقام تفصل بين حانة الآلاف. (المعدن)

والتصحیحات أمراً ضرورياً لأن استخدام بيانات المسح السابقة تحتاج لمعرفة كيف تمت القياسات وما هي المصادر العامة للأخطاء والتصحیحات التي كانت مطلباً نموذجياً.

بما يخص طريقة القياس بالشريط العادي، يجب أن يستخدم شريط قياس تصل دقته إلى 0.01 قدم (0.00305 متر). ويجب أن يكون الشريط مشدوداً بقوة تساوي حوالي 15 ليبرة (66.7 نيوتن). ويجب أن تكون درجة الحرارة ضمن حد 10°F (5.56°C) وميل الأرض ضمن حد 2 % ومن ثم تطبيق التصحيحات الملائمة. فالتصحيح المطبق على درجة الحرارة عند استخدام الشريط الفولاذي هو:

$$C_t = 0.0000065s (T - T_0)$$

والتصحيح المطبق على القياسات على منحدر أرضي هو:

$$C_h = s (1 - \cos \theta) \quad \text{دقيق}$$

أو

$$C_h = 0.00015s \theta^2 \quad \text{تقريبي}$$

أو

$$C_h = h^2/2s \quad \text{تقريبي}$$

حيث:

C_t = تصحيح درجة الحرارة على الطول المقاس، مقدراً بـ ft (m).

C_h = التصحيح المطروح من المسافة المائلة، ft (m).

s = الطول المقاس، ft (m).

T = درجة الحرارة التي أخذت عندها القياسات $^{\circ} \text{F}$ ($^{\circ} \text{C}$).

T_0 = درجة الحرارة التي يكون عندها شريط القياس معيارياً (دون تمدد أو تقلص)،

مقدرة بـ $^{\circ} \text{F}$ ($^{\circ} \text{C}$).

h = الفرق في الارتفاع عند نهايتي المسافة المقاسة، ft (m).

θ = زاوية الميل، بالدرجة.

وفي طرق القياس بالشريط الأكثر دقة، باستخدام الشريط المعياري (النظامي) عندما يكون محمولاً على امتداده كاملاً، يجب أن تتم التصحيحات أيضاً على الشد وشروط حمل الشريط أو رفعه. بمساند على عدة مستويات أو مستوٍ أفقي واحد تقريباً.

تصحيح الشد:

$$C_p = \frac{(P_m - P_s)s}{SE}$$

تصحيح ارتخاء الشريط عندما لا يكون مسنوداً بشكل كلي:

$$C_s = \frac{w^2 L^2}{24P_m^2}$$

حيث:

C_p = تصحيح الشد للطول المقاس، ft (m).

C_s = تصحيح الارتخاء للطول المقاس من أجل كل مقطع غير مسنود من الشريط مقدراً بـ ft (m).

P_m = الشد الفعلي، lb (N).

P_s = الشد الذي يكون فيه الشريط في الحالة العيارية، lb (N) (وعادة تكون 10 ليرة) (حوالي 44.4 نيوتن).

S = مساحة المقطع العرضي للشريط، in^2 (mm^2).

E = عامل مرونة الشريط، lb/in^2 (MPa). $\left(29 \frac{\text{مليون ليرة}}{\text{إنش}^2} \right)$ للفولاذ (حوالي 199.955 MPa).

w = وزن الشريط بوحدة الطول، lb/ft (Kg/m).

L = الطول اللامسنود ، ft (m).

تصحیحات الميل (انحدار الأرض)

عند القيام بالقياسات على المنحدر، تساوي المسافة الأفقية (المقاسة في المستوي الأفقي) $H = L \cdot \cos x$ ، حيث L = المسافة المائلة و x = الزاوية الشاقولية، وتنجز عملية الحساب باستخدام حاسبة يدوية بسيطة. وبما يخص المنحدرات ذات الميل 10 % أو أقل، يمكن أن يحسب التصحيح الواجب تطبيقه على L بسبب فرق الارتفاع d بين نهايتي الشريط من:

$$C_s = \frac{d^2}{2L}$$

أما بما يخص المنحدر الذي يزيد ميله عن 10 %، فيمكن أن يتم تعيين C_s من:

$$C_s = \frac{d^2}{2L} + \frac{d^4}{8L^3}$$

تصحیحات درجة الحرارة

من أجل طول شريط غير صحيح:

$$C_t = \frac{\text{(طول الشريط الفعلي - طول الشريط الاسمي)} \cdot L}{\text{طول الشريط الاسمي}}$$

ومن أجل شد غير قياسي (لا عياري):

$$C_t = \frac{\text{(الشد المطبق - الشد المعياري)} \cdot L}{AE}$$

AE

حيث:

A = مساحة المقطع العرضي للشريط، in^2 (mm^2).

E = عامل المرونة = $29,000,000 \text{ lb/in}^2$ ($199,955 \text{ MPa}$) لل فولاذ.

وبما يخص تصحيح الارتخاء بين نقاط استناد الشريط، مقدراً بـ ft (m):

$$C = -\frac{w^2 L_s^3}{24p^2}$$

حيث:

w = وزن الشريط بالقدم الطولي، lb (N).

L_s = الطول اللامسنود للشريط، ft (m).

p = الشد المطبق على الشريط، lb (N).

التصحيح الأورثومتري

يُطبق هذا التصحيح على الارتفاعات الأولية الناشئة عن تفلطح الأرض في الاتجاه القطبي. وتكون قيمته تابعة لزاوية خط العرض وارتفاع فرق سوية إغلاق دائرة المضلع. بسبب انحناء الأرض يتبعد خط الأفق عن سطح السوية. ويمكن أن يحسب الابتعاد C_f بالقدم أو C_m بالمتر من:

$$C_f = 0.667M^2 = 0.0239 F^2$$

$$C_m = 0.0785 K^2$$

حيث: M المسافة بالأميال و F المسافة بآلاف الأقدام و K المسافة بالكيلومترات)، وذلك عن نقطة تماس سطح الأرض.

يؤدي انكسار الأشعة الضوئية، المارة من الغلاف الجوي للأرض، إلى انحناء هذه الأشعة مع انحناء سطح الأرض. وبما يتعلق بالرؤى (بالأرصاد) الأفقية، تكون الإزاحة الزاوية المتوسطة (كما في حالة رصد قطر الشمس) حوالي 32 دقيقة. وتُعطى الإزاحة R_f بالقدم أو R_m بالمتر بالعلاقة التقريبية:

$$R_f = 0.093 M^2 = 0.0033 F^2$$

$$R_m = 0.011 K^2$$

ولكي نحصل على التأثير المركب من الانكسار وانحناء الأرض، قم بطرح R_f من C_i أو قم بطرح R_m من C_m .

التسوية المتعلقة بالمقطع العرضي أو ما يسمى بتسوية حساب حُفر الاستعارة (الإمداد) تعطي فروقاً في الارتفاعات عند زوايا المربعات أو المستطيلات التي يعتمد طول أضلاعها على المساحة الواجب تغطيتها وعلى تضاريس الأرض وعلى الدقة المرغوبة.

فمثلاً يمكن أن يكون طول الأضلاع 10 أو 20 أو 40 أو 50 أو 100 قدم (3.048 أو 6.09 أو 12.19 أو 15.24 أو 30.48 متر).

ويمكن أن يتم وضع خطوط التسوية بسهولة إلا أن المعالم أو الرموز الطبوغرافية ليست بهذه السهولة. تُحسب كمية المادة، ft^3 (م³)، التي ستحضر أو التي ستعزل عن طريق اختيار تدرج منتظم بالارتفاع أو باختيار ارتفاع الأرض النهائي ثم بحساب فروق الارتفاع عند الزوايا وتعويضها بالعلاقة:

$$Q = \frac{n \times A}{108}$$

حيث

n = عدد المرات التي تدخل فيها زاوية معينة كجزء من الجسم الترابي المقسم (باعتبار أن الحجم الترابي الكلي مقسم إلى بلوكات أو مجموعة من الكتل الترابية).

x = الفرق في المنسوب بين الأرض والارتفاع المتدرج عند كل زاوية، (m) ft.
 A = مساحة كل كتلة ترابية مقسمة (باعتبار أن الحجم الكلي مقسم إلى كتل ترابية)، (m^2) ft².

Vertical Control

شبكة التحكم الشاقولية

تُعطى المساحة الجيوديزية القومية (NGS) شبكة تحكم شاقولية من أجل جميع أنواع الأعمال المساحية. فالـ NGS تزودنا بمواصفات وارتفاعات علامات المنسوب المرجعية عند الطلب. ووفق ما هو مُعطى في "القياسات والمواصفات النظامية في شبكات التحكم الجيوديزية" العائدة لجمعية إدارة الشبكة الجيوديزية الفيدرالية، تكون الدقة النسبية C المطلوبة بين علامات المنسوب المتصلة مع بعضها مباشرة وذلك من أجل تسوية من ثلاث مراتب، مقدرة بـ mm :

المرتبة الأولى: $C = 0.5\sqrt{K}$ للصف 1 و $C = 0.7\sqrt{K}$ للصف II.

المرتبة الثانية: $C = 1.0\sqrt{K}$ للصف 1 و $C = 1.3\sqrt{K}$ للصف II.

المرتبة الثالثة: $C = 2.0\sqrt{K}$.

حيث: K المسافة بين علامات المنسوب مقدرة بـ Km .

Stadia Surveying

المسح الستاديمتري

عند القيام بالمسح الستاديمتري، يُستخدم التيودوليت ذو الشعيرات التصالبية الأفقية الستاديمتري الموجودة فوق وأسفل الشعيرة المتصالبة الأفقية المركزية.

يُسمى الفرق في قراءتي الشاحصة الموافقتين للشعيرات الستاديمتريّة، بطول الشاحصة المعترض. ويمكن للطول المعترض أن يُحوّل إلى المسافتين الأفقية والشاقولية بين الجهاز والشاحص عن طريق الصيغ التالية:

$$H = Ki (\cos a)^2 + (f + c) \cos a$$

$$V = \frac{1}{2} Ki (\sin 2a) + (f + c) \sin a$$

حيث:

H = المسافة الأفقية بين مركزي التيودوليت والشاخص، $(m) ft$.

V = المسافة الشاقولية بين مركز التيودوليت والنقطة الواقعة على الشاخص المتقاطعة مع الشعيرة المتصالبة الوسطية الأفقية، $(m) ft$.

K = العامل الستاديمتري (عادة يساوي 100).

i = الطول الاعتراضي على الشاخصة، $(m) ft$.

a = الميل الشاقولي لمستقيم الرؤية (خط الرصد)، مقاساً بدءاً من خط الأفق، ومقدراً بالدرجات.

$f + c$ = ثابت الجهاز، $(m) ft$. (يؤخذ عادة مساوياً لـ 1 قدم $(0.3048 m)$).

تُحسب المسافات عادةً، باستخدام هذه الصيغ، بالأقدام (بالأمتار) أما الفروقات في الارتفاع فتحسب بأعشار القدم $\left(\frac{1}{10} \text{ من المتر}\right)$.

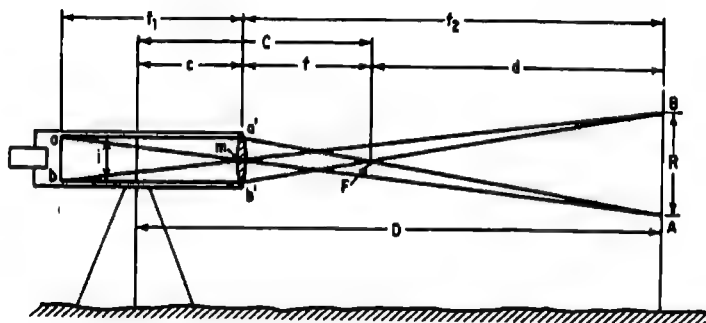
يُبين الشكل 7.1 العلاقات الستاديمترية الخاصة بالرصد الأفقي باستخدام نوع قدم من تلسكوب ذي إحكام محرقى داخلي. ويمكن لتلك العلاقات الستاديمترية المتبادلة أن تقارن مع تلك العلاقات العائدة لتلسكوبات ذات إحكام محرقى داخلي.

تساوي المسافة الستاديمترية في حالة الرصد الأفقي (من محور دوران الجهاز إلى الشاخصة)، مقدرة بـ $(m) ft$ ، إلى:

$$D = R \frac{f}{i} + c$$

حيث:

R = الطول الاعتراضي (المقابل) على الشاخص بين نقطتي توقيع الشعيرتين، $(m) ft$.



الشكل 7.1 المسافة D مقاسة باستخدام تلسكوب ذي إحكام محراقي خارجي عن طريق تعيين مجال طول الاعتراض R على الشاحص AB بواسطة شعيرتي سلكي نقطتي الرصد الأفقي a و b.

f = البعد المحراقي للتلسكوب، ft (m) (وهو ثابت في بعض الأجهزة الخاصة).

i = المسافة بين شعيرتي الستاديمتر، ft (m).

$$c + f = C$$

c = المسافة من مركز محور دوران الجهاز إلى مركز جسم العدسة، ft (m).

يسمى الثابت C بالثابت الستاديمتري، بالرغم من أن c و C تتغيران على نحو ضئيل.

قيمة العامل الستاديمتري f/i تُجهّز من قبل المصنع لتساوي حوالي 100، إلا أنها ليست من الضروري أن تساوي الـ 100. وهذه القيمة يجب أن يتم اختبارها قبل استخدامها في أعمال هامة أو عندما تكون الشعيرتان أو العينتان قد تم استبدالهما بعد أن أصيبتا بضرر.

Photogrammetry

الفوتوغراممري

الفوتوغراممري هو علم وفن الحصول على قياسات ذات طابع موثوق عن طريق التصوير الفوتوغرافي (فوتوغراممري مئري) والتقييم الكمي لبيانات الصورة (تفسير تصويري). إذ أنه يتضمن استخدام الصور الأرضية وذات المدى القريب والجوية والشاقولية والمائلة والشرطية والفضائية مع تفسيراتها.

تُعطى صيغ المقياس وفق ما يلي:

$$\frac{\text{المسافة على الصورة}}{\text{المسافة على الخريطة}} = \frac{\text{مقياس الصور}}{\text{مقياس الخريطة}}$$

$$\text{مقياس الصورة} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H - h_1}$$

حيث:

f = البعد المحرقى للعدسة، (m) in.

H = ارتفاع التحليق للطائرة فوق المستوى المرجعي (عادة يكون المستوى الوسطي للبحار)، (m) ft.

h_1 = ارتفاع النقطة أو الخط أو المساحة وذلك بالنسبة للمستوى المرجعي، (m) ft.

8

الصيغ الخاصة بالتربة
والأعمال الترابية

Soil And Earthwork Formulas

Physical Properties Of Soils الخصائص الفيزيائية للترب

يمكن أن تُقسم الخصائص الأساسية للتربة ووسطائها إلى صفوف فيزيائية ودليّة وهندسية. فتتضمن الخصائص الفيزيائية للتربة الكثافة وحجم الجزيئات وتوزعها والوزن النوعي والمحتوى المائي.

يُمثل المحتوى المائي w لعينة ترابية وزن الماء الحر المتضمن في عينة مُعبّر عنه بنسبة مئوية من وزنها الجاف.

وتكون درجة الإشباع S لعينة النسبة، المُعبّر عنها مئويةاً، لحجم الماء الحر المتضمن في العينة إلى حجم فراغاتها الجزيئية الإجمالي V_v .

وتكون المسامية n ، قياس الكمية النسبية للفراغات الجزيئية، هي نسبة حجم الفراغ الجزيئي إلى الحجم الإجمالي V للتربة:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (8.1)$$

إن نسبة الحجم V_v إلى الحجم المشغول من قبل جزيئات التربة V_s تُعرّف نسبة الفراغ e . فبإعطاء نسبة الفراغ (Void ratio) e يمكن أن تُحسب درجة الإشباع من:

$$S = \frac{wG_s}{e} \quad (8.2)$$

حيث: G_s تمثل الوزن النوعي لجزيئات (حببيات) التربة. وتكون G_s ، بالنسبة لمعظم الترب اللاعضوية، عادةً، واقعة ضمن مجال يتراوح ما بين 2.67 ± 0.05 .

يمكن أن تُحسب واحدة الوزن الجاف γ_d لعينة ترابية نموذجية، بأي درجة إشباع كانت، من:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w G_s S}{1 + wG_s} \quad (8.3)$$

حيث: γ_w واحدة وزن الماء وتؤخذ عادة 62.4 ليبرة/قدم³ (1001 Kg/m³) من أجل الماء العذب و 64.0 ليبرة/قدم³ (1026.7 Kg/m³) من أجل الماء المالح.

الوسطاء الأدلة للترب Index Parameters For Soils

تتضمن الوسطاء الأدلة للترب المتناسكة حد السيولة وحد اللدونة وحد التقلص (الانكماش) ودرجة نشاط التربة. ويكون هذا النوع من الوسطاء مفيداً لتصنيف الترب المتناسكة بالإضافة إلى إعطائها العلاقات المتبادلة بين الخصائص الهندسية للتربة.

يُمثل حد السيولة للترب المتناسكة الحالة الأقرب للسيلان، بمعنى أنه تساوي مقاومة القص اللامصرفة (قوة القص المطبقة على عينة لم تجف بعد) حوالي 0.01 ليبرة/قدم² (0.0488 كغ/متر²). المحتوى المائي الذي تتوقف عنده التربة عن إظهار السلوك اللدن يسمى بحد اللدونة. بينما يمثل حد التقلص المحتوى المائي الذي لن يحدث عنده تغير إضافي (نقصان) في الحجم وذلك مع تقليل محتوى الماء.

إن الوسطاء الأكثر نفعاً في التصنيف وإيجاد الروابط المتبادلة هي دليل اللدانة I_p ودليل السيولة I_L ودليل التقلص I_s والنشاط A_c . هذه الوسطاء مُعرّفة في الجدول 8.1.

الجدول 8.1 أدلة التربة

الدليل	التعريف*	العلاقة المتبادلة
Plasticity اللدانة	$I_p = W_L - W_P$	المقاومة، الانضغاطية، الارتصاص، ... الخ
Liquidity السيولة	$I_L = \frac{W_a - W_P}{I_p}$	معدل الإجهاد والانضغاطية
Shrinkage التقلص	$I_s = W_P - W_s$	الطاقة الكامنة للتقلص
Activity النشاط	$A_c = \frac{I_p}{\mu}$	طاقة الانتفاخ الكامنة، ... الخ

* W_L = حد السيولة؛ W_P = حد اللدانة؛ W_n = محتوى الرطوبة %؛ W_s = حد التقلص؛

μ = نسبة حبيبات التربة الناعمة ذات الأقطار الأقل من 0.002 mm (حبيبات الترب العضارية).

يمكن أن يتم التعبير عن الكثافة النسبية D_r للتربة اللامتماسكة باستخدام نسبة الفراغ e أو باستخدام واحدة الوزن الجاف γ_d :

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_o}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (8.4)$$

$$D_r = \frac{1/\gamma_{\min} - 1/\gamma_d}{1/\gamma_{\min} - 1/\gamma_{\max}} \quad (8.5)$$

تُعطى D_r خاصية التربة اللامتماسكة ووسطاء علاقاتها المتبادلة التي تتضمن زاوية الاحتكاك والتساهل أو حد التسامح والانضغاطية وعامل الانفعال-القص الأصغري ومقاومة القص الدورية، ... الخ.

العلاقات بين الأوزان والحجوم في التربة

Relationship Of Weights And Volumes In Soils

يتغير وزن واحدة الحجم للتربة تبعاً لكمية الماء المحتواة في التربة. فتستخدم عموماً أوزان واحداث الحجم الثلاثة التالية:

وزن واحدة الحجم المشبعة γ_{sat} ووزن واحدة الحجم الجاف γ_{dry} ووزن واحدة الحجم العائم γ_b (وتسمى كذلك بوزن واحدة الحجم المغمور):

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G + e)\gamma_o}{1 + e} = \frac{(1 + w)G\gamma_o}{1 + e} \quad \text{؛} \quad S = 100\%$$

$$\gamma_{\text{dry}} = \frac{G\gamma_o}{(1 + e)} \quad \text{؛} \quad S = 0\%$$

$$\gamma_b = \frac{(G - 1)\gamma_o}{1 + e} \quad \text{؛} \quad S = 100\%$$

يُعبّر عن وزن الواحدات الحجمية عادةً بـ باوند بالقدم³ أو بـ غرام بالسنتيمتر³.

القيم النموذجية لأوزان الواحدات الحجمية، من أجل تربة وزنها النوعي 2.73 ونسبة الفراغات فيها 0.80، تكون:

$$\gamma_{sat} = 122 \text{ lb/ft}^3 = 1.96 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{dry} = 95 \text{ lb/ft}^3 = 1.52 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_b = 60 \text{ lb/ft}^3 = 0.96 \text{ g/cm}^3$$

الرموز المستخدمة في المعادلات الثلاثة السابقة وكذا في الشكل 8.1 هي:

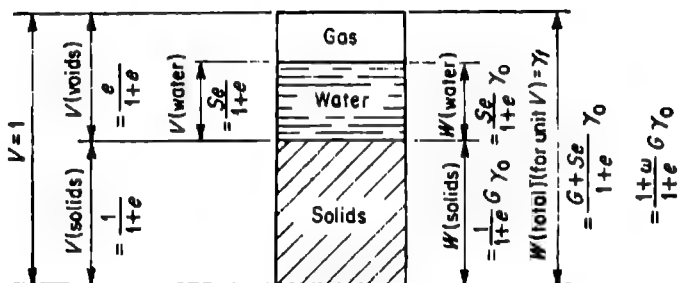
G = الوزن النوعي للمكونات الصلبة للتربة ويُعرّف بأنه وزن واحدة الحجم الصلب إلى وزن واحدة الحجم للماء المقطر في الدرجة $C^\circ 4$ (الوزن النوعي للكوارتز 2.67؛ ويكون الوزن النوعي لأكثرية الترب ضمن مجال يتراوح بين 2.65 و 2.85؛ وتمتلك الترب العضوية أوزاناً نوعية أقل قيمة).

γ_s = وزن واحدة الحجم للماء وتساوي 62.4 lb/ft^3 (1.0 g/cm^3).

e = نسبة الفراغ، وهي حجم الفراغات في كتلة التربة مقسومة على حجم المكونات الصلبة لنفس الكتلة، وتساوي أيضاً إلى $n/(1-n)$ ، حيث n هي المسامية وتُعرف بأنها حجم الفراغات في كتلة ترابية مقسومة على الحجم الكلي لنفس الكتلة.

S = درجة الإشباع، وهي حجم الماء في الكتلة الترابية مقسومة على حجم الفراغات في نفس الكتلة.

w = المحتوى المائي، وهو وزن الماء في كتلة التربة مقسوماً على وزن المكونات الصلبة في نفس الكتلة ويساوي أيضاً إلى Se/G .



الحجم الإجمالي (حجم المكونات الصلبة + حجم الماء + حجم العن) = 1

الشكل 8.1 علاقة الأوزان والحجوم في التربة.

Internal Friction And Cohesion الاحتكاك الداخلي والتماسك

يُعبّر عن زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة بـ:

$$\tan \phi = \frac{\tau}{\sigma}$$

حيث:

ϕ = زاوية الاحتكاك الداخلي.

$\tan \phi$ = أمثال الاحتكاك الداخلي.

σ = القوة الناعمة المؤثرة على مستوى مفروض في كتلة ترابية لا متماسكة.

τ = قوة القص المؤثرة على نفس المستوي عندما يكون الانزلاق على المستوي على وشك الحدوث.

بما يخص الترب الرملية الخشنة والمتوسطة الخشونة تكون زاوية الاحتكاك الداخلي واقعة ما بين 30° إلى 35°. أما زاوية الاحتكاك الداخلي للترب الغضارية فتتراوح عملياً من 0° إلى 20°.

تماسك التربة هو عبارة عن مقاومة القص التي تمتلكها التربة بواسطة ضغطها الذاتي. وتكون قيمة مقاومة التماسك الحدّية للتربة، مُعينة عادةً بـ c .

بعض القيم الوسطية لـ c تمّ سردها في الجدول 8.2.

الجدول 8.2 مقاومة التماسك لأنواع مختلفة من الترب

التماسك c		النوع العام للتربة
(kPa)	lb/ft ²	
(4.8)	100	Almost-liquid clay غضار مائل للسيلان
(9.6)	200	Very soft clay غضار طري جداً.
(19.1)	400	Soft clay غضار طري
(47.8)	1000	Medium clay غضار متوسط
(19.1)	400	Damp, muddy sand رمل رطب موحل

Vertical Pressures In Soils

الضغوط الشاقولية في الترب

يمكن أن يتم تحديد الإجهاد الشاقولي في التربة الذي تسببه حمولة شاقولية مركزة على السطح وبدقة كافية عن طريق استخدام نظرية المرونة. هنالك معادلتان شائعتا الاستخدام، هما معادلتا بوسينيسك - Boussinesq وويسترغارد - Westergaard. تطبق معادلة بوسينيسك على الكتلة المرنة المتجانسة الموحدة الخواص في كل الاتجاهات والممتدة إلى اللانهاية في جميع الاتجاهات بدءاً من سطح السوية. ويكون الإجهاد المؤثر عند نقطة ما في الكتلة:

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2} \left[1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{5/2}$$

تطبق معادلة ويسترغارد على المادة المرنة المسلحة جانبياً بصفائح أفقية ذات ثخانة ضئيلة جداً وصلابة لا نهائية بحيث تحول دون أن تتلقى الكتلة انفعالاً جانبياً

(أفقياً). ويساوي الإجهاد الشاقولي المؤثر في نقطة ما من الكتلة، بافتراض أن عامل بواسون صفر، إلى:

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi z^2} \left[1 + 2 \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{3/2}$$

حيث:

σ_z = الإجهاد الشاقولي المؤثر في النقطة، (lb/ft²) (KPa).

P = الحمولة السطحية الإجمالية المركزة، (N) lb.

z = عمق النقطة التي يؤثر فيها الإجهاد σ_z ، مقاساً بالاتجاه الشاقولي نحو الأسفل بدءاً من السطح، (m) ft.

r = المسافة الأفقية بدءاً من نقطة مرتسم (مسقط) الحمولة السطحية P إلى النقطة التي يؤثر فيها σ_z ، (m) ft.

تعطي معادلة ويستر غارد، من أجل قيم لـ r/z واقعة بين 0 و 1، إجهادات تقل وعلى نحو ملحوظ عن تلك الإجهادات التي تعطيها معادلة بوسينيسك.

أما من أجل قيم لـ r/z أكبر من 2.2، فسوف تعطي كلتا المعادلتين إجهادات أقل من $P/100 z^2$.

الضغوط الجانبية المؤثرة في التربة والقوى المؤثرة على الجدران الاستنادية

Lateral Pressures In Soils, Forces On Retaining Walls

تُفترضُ نظرية الضغوط الجانبية (الأفقية) للتربة العائدة لـ رانكين Rankine، والمستخدم من أجل تقدير القيم التقريبية للضغوط الجانبية المؤثرة على الجدران

الاستنادية، بأن الضغط المؤثر على الوجه الخلفي (الوجه الترابي) لجدار شاقولي هو نفس ذلك الضغط الموجود المؤثر على مستوي شاقولي في كتلة ترابية لا نهائية. ويكون الاحتكاك بين الجدار والتربة مهملاً. ويتكوّن الضغط المؤثر على الجدار من:

(1) الضغط الجانبي للتربة الذي يعبأ به الجدار.

(2) ضغط الماء (إن وجد) خلف الجدار.

(3) الضغط الجانبي الناتج عن أي تحميل إضافي على التربة خلف الجدار.

الرموز المستخدمة في هذا المقطع هي:

γ = وزن وحدة الحجم للتربة، lb/ft^3 (Kg/m^3) (وهي إما وزن وحدة الحجم المشبع أو وزن وحدة الحجم الجاف أو وزن وحدة الحجم المغمور وذلك تبعاً للشروط).

P = قوة الدفع الأفقية للتربة مقدرة بـ ليبرة/قدم طولي (كغ/متر طولي) على الجدار.

H = الارتفاع الكلي للجدار، ft (m).

ϕ = زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة، مقدرة بالدرجات.

i = زاوية ميل سطح الأرض خلف الجدار مع المستوي الأفقي، أيضاً زاوية ميل خط فعل قوة الدفع الجانبية P والضغط المؤثرة على الجدار مع المستوي الأفقي.

K_a = أمثال الضغط الفعّال.

K_p = أمثال الضغط اللافعّال (العكسي).

C = التماسك، lb/ft^2 (KPa).

الضغط الجانبي للترب اللامتماسكة

Lateral Pressure Of Cohesionless Soils

تُعطى قوة الدفع الأفقية الإجمالية المؤثرة، من قبل التربة على الجدران التي تعبأ بحجز ترب لا متماسكة وحرّة الحركة إلى حد ملحوظ، بالعلاقة:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 \text{Cosi} \frac{\text{Cosi} - \sqrt{(\text{Cosi})^2 - (\text{Cos}\phi)^2}}{\text{Cosi} + \sqrt{(\text{Cosi})^2 - (\text{Cos}\phi)^2}}$$

وعندما يكون السطح (سطح التربة) خلف الجدار سطح سوية (مستويًا أفقيًا)، تكون قوة الدفع الأفقية:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$$

$$K_A = \left[\tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right]^2 \quad \text{حيث:}$$

تُطبق قوة الدفع الأفقية عند النقطة $H/3$ فوق قاع الجدار، ويكون الضغط الموزع مثلثياً بضغط أعظمي $\frac{2P}{H}$ واقعاً عند أسفل الجدار.

وبما يخص الجدران التي تعبأ بحجز ترب لا متماسكة وحرّة الحركة إلى حد ضئيل فقط، تساوي قوة الدفع الأفقية إلى $1.12 P$ ، حيث P مُعرّفة سابقاً.

تُطبق قوة الدفع الأفقية عند النقطة الوسطية من الجدار ويكون الضغط الموزع شبه منحرفاً، بضغط أعظمي يساوي $1.4 P/H$ يمتد فوق الـ $\frac{6}{10}$ الوسطى من ارتفاع الجدار.

أما الجدران التي تعبأ بحجز ترب لا متماسكة ومعاقة الحركة تماماً (حالة نادرة جداً)، فتكون قوة الدفع الأفقية الإجمالية المؤثرة من قبل التربة على الجدار:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 C_{os} \frac{C_{os} + \sqrt{(C_{os})^2 - (C_{os}\phi)^2}}{C_{os} - \sqrt{(C_{os})^2 - (C_{os}\phi)^2}}$$

وعندما يكون السطح (سطح الأرض) خلف الجدار أفقياً، تكون قوة الدفع الأفقية:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

حيث:

$$K_p = \left[\tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right]^2$$

تُطبق قوة الدفع الأفقية عند النقطة $\frac{H}{3}$ فوق قاعدة الجدار، ويكون توزيع الضغط مثلثياً، وبضغط أعظمي يساوي $\frac{2P}{H}$ يحدث عند أسفل الجدار.

الضغط الجانبي للترب المتماسكة

Lateral Pressure Of Cohesive Soils

الجدران التي تعبأ بحجز ترب متماسكة وحررة الحركة إلى حد ملحوظ على امتداد فترة زمنية طويلة، تكون قوة الضغط الأفقية المؤثرة عليها من قبل التربة (بافتراض أن سطحها أفقي أو بتعبير أدق سطح سوية) معطاة بالعلاقة:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A - 2cH\sqrt{K_A}$$

أو، لأن الترب العالية التماسك تمتلك عموماً زوايا احتكاك داخلية صغيرة، تكون P معطاة بالعلاقة:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 - 2cH$$

وتكون قوة الدفع الأفقية مطبقة عند نقطة تقع أسفل المسافة $\frac{H}{3}$ بقليل والمقاسة بدءاً من قاعدة الجدار ويكون توزيع الضغط مثلثياً على وجه التقريب.

أما بما يخص الجدران التي تعبأ بحجز تراب متماسكة وحررة الحركة بمقدار ضئيل فقط أو ممنوعة من الحركة تماماً، تكون قوة الدفع الأفقية من قبل التربة:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$$

ذلك لأن التماسك سيفقد من خلال الجريان اللدن.

Water Pressure

ضغط الماء

تساوي قوة الدفع الأفقية الإجمالية، المطبقة من قبل الماء المحتجزة خلف جدار، إلى:

$$P = \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

حيث؛

H = ارتفاع الماء فوق قاعدة الجدار، ft (m).

γ_w = وزن واحدة الحجم للماء، lb/ft³ (Kg/m³)، وتساوي إلى 62.4 lb/ft³ (1001 Kg/m³) من أجل الماء العذب و 64 lb/ft³ (1026.7 Kg/m³) من أجل الماء المالح.

تكون قوة الدفع الأفقية مطبقة عند منسوب يساوي $\frac{H}{3}$ فوق قاعدة الجدار ويكون الضغط موزعاً مثلثياً وبضغط أعظمي يساوي $\frac{2P}{H}$ يحدث عند أسفل الجدار.

وبغض النظر عن انحدار سطح الأرض خلف الجدار، يكون الدفع الجانبي من قبل الماء أفقياً دائماً.

الضغط الجانبي الناتج عن التحميل الإضافي

Lateral Pressure From Surcharge

إن تأثير الحمل الإضافي على جدار يحجز خلفه تربة غير متماسكة أو تربة متماسكة غير مشبعة يمكن أن يوضح عن طريق تطبيق حمولة أفقية منتظمة ذات مقدار $K_A p$ ممتدة على ارتفاع الجدار، حيث p هي الحمولة الإضافية مقدرة بـ pound/ft^2 (Kilopascal). ويجب أن تُعتبر القيمة الكلية للحمولة الإضافية p ، في حالة الترب المتماسكة والمشبعة، وكأنها فاعلة على امتداد ارتفاع الجدار وحمولة أفقية منتظمة. و K_A تم تعريفها سابقاً.

Stability Of Slopes

استقرارية المنحدرات

الترب اللامتماسكة

يكون المنحدر، في الترب اللامتماسكة التي لا تنزح أو لا ترشح الماء منها، مستقراً إذا كان:

$$i < \phi$$

أما في حالة رشح المياه بصورة موازية للمنحدر وبافتراض أن التربة مشبعة، يكون المنحدر اللاهثائي (الممتد بعيداً) في التربة اللامتماسكة مستقراً إذا كان:

$$\tan i < \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_{sat}} \right) \tan \phi$$

حيث:

i = زاوية المنحدر أو ميل سطح الأرض.

ϕ = زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.

γ_b , γ_{sat} = أوزان واحداث الحجم، lb/ft^3 (Kg/m^3).

الترب المتماسكة

يكون المنحدر في التربة المتماسكة مستقراً إذا كان:

$$H < \frac{C}{\gamma N}$$

حيث:

H = ارتفاع المنحدر، (m) ft

C = التماسك، (Kg/m²) lb/ft²

γ = وزن واحدة الحجم، (Kg/m³) lb/ft³

N = رقم الاستقرار، بدون بعد.

ويساوي الرقم N من أجل الاغيار الذاتي للمنحدر، وبدون رشح للماء، إلى:

$$N = (\cos i)^2 (\tan i - \tan \phi)$$

ويساوي رقم الاستقرار N في حالة رشح الماء، إلى:

$$N = (\cos i)^2 \left[\tan i - \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_{sat}} \right) \tan \phi \right]$$

عندما يكون المنحدر مغموراً بالماء، فإن ϕ هي زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة و γ تساوي إلى γ_b . وفي حال تمت إزالة الماء من المنحدر المغمور بها في فترة زمنية قصيرة (تخفيض مفاجئ لمنسوب الماء)، تكون الزاوية ϕ هي زاوية الاحتكاك الداخلي المثقلة المساوية إلى $\phi (\gamma_b/\gamma_{sat})$ ، وتكون γ مساوية إلى γ_{sat} .

قدرة تحمل (السعة الحملية) التربة Bearing Capacity Of Soils

تُعطي قدرة التحمل الحدّية التقريبية تحت أساس طويل عند سطح التربة بعلاقة براندل Prandtl وفق:

$$q_u = \left(\frac{c}{\tan \phi} \right) + \frac{1}{2} \gamma_{dry} b \sqrt{K_p} (K_p e^{\pi \tan \phi} - 1)$$

حيث :

q_u = قدرة التحمل الحدية للتربة، $(\text{Kg/m}^2) \text{ lb/ft}^2$.

c = التماسك، $(\text{Kg/m}^2) \text{ lb/ft}^2$.

ϕ = زاوية الاحتكاك الداخلي، بالدرجات.

γ_{dry} = وزن واحدة الحجم الجاف للتربة، $(\text{Kg/m}^3) \text{ lb/ft}^3$.

b = عرض الأساس، $(\text{m}) \text{ ft}$.

d = عمق الأساس تحت سطح التربة، $(\text{m}) \text{ ft}$.

K_p = أمثال الضغط العكسي (الافعال) ويساوي:

$$K_p = \left[\tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right]^2$$

e = العدد الطبيعي (النيري) = 2.71828

يمكن أن يتم تعديل السعة الحملية الحدية للتربة، بما يخص الأساسات تحت سطح التربة، بالعامل $1 + Cd/b$. ويساوي العامل C تقريباً إلى 2 بالنسبة للتربة اللامتماسكة، وتقريباً إلى 0.3 للتربة المتماسكة. وقد جرت العادة بحذف التزايد الحاصل في قدرة تحمل التربة مع ازدياد العمق في الترب المتماسكة.

مقدار الهبوط (الغوص) أسفل الأساس

Settlement Under Foundations

تُعطى العلاقة التقريبية بين الحمولات المطبقة على الأساسات ومقدار الهبوط بـ:

$$\frac{q}{P} = C_1 \left(1 + \frac{2d}{b} \right) + \frac{C_2}{b}$$

حيث:

q = شدة الحمولة، $(\text{Kg/m}^2) \text{ lb/ft}^2$.

P = الهبوط، $(\text{mm}) \text{ in}$.

d = عمق الأساس تحت سطح الأرض، $(\text{m}) \text{ ft}$.

b = عرض الأساس، $(\text{m}) \text{ ft}$.

C_1 = عامل عددي يعتمد على الاحتكاك الداخلي.

C_2 = عامل عددي يعتمد على التماسك.

يتم تحديد العاملين C_1 و C_2 عادةً عن طريق تجارب تحميل صفيحة التحمل.

Soil Compaction Tests

تجارب رص التربة

تُستخدم طريقة المخروط الرمل في الحقل لتعيين كثافة رص التربة في السدود الترابية وردميات الطرق وفي الردميات الإنشائية، هذا بالإضافة إلى تعيين كثافة الترسبات الطبيعية للتربة والتدرجات الحبيبة والخلطات الترابية أو بعض المواد المشابهة الأخرى. وتكون هذه الطريقة (المخروط الرمل) غير ملائمة في واقع الحال بالنسبة للتربة المشبعة أو الطرية أو الهشة (تفتت بسهولة).

تُحسب المواصفات المميزة للتربة من:

وزن الرمل الذي يملأ الحفرة، $(\text{kg})\text{lb}$

كثافة الرمل، $(\text{kg/m}^3) \text{ lb/ft}^3$

حجم التربة، مقدراً بـ $(\text{m}^3)\text{ft}^3$ =

$$\text{الرطوبة \%} = \frac{100 (\text{وزن التربة الرطبة} - \text{وزن التربة الجافة})}{\text{وزن التربة الجافة}}$$

$$\text{الكثافة الحقلية مقدرة بـ } (kg/m^3) \text{ lb/ft}^3 = \frac{\text{وزن التربة، lb (kg)}}{\text{حجم التربة، ft}^3 (m^3)}$$

$$\text{الكثافة الجافة} = \frac{\text{الكثافة الحقلية}}{\frac{\text{الرطوبة \%}}{100} + 1}$$

$$\text{الرص \%} = \frac{100 (\text{الكثافة الجافة})}{\text{الكثافة الجافة القصوى}}$$

يتم إيجاد الكثافة الجافة القصوى بوضع مخطط لمنحني الكثافة - الرطوبة.

تجربة التحميل (للفصيحة)

إحدى الطرق المبكرة في حساب قيمة قابلية التشوه الحقلية للتربة الحبية الخشنة هي تجربة التحميل (للفصيحة) ذات المقياس المُصَغَّر. حيث استخدمت البيانات المطوّرة عن هذه التجارب ليعطي عامل المقياس إمكانية التعبير عن الهبوط p لأساس بالمقياس الطبيعي الكامل من خلال الهبوط p_1 لفصيحة مساحتها 1 قدم² (0.0929 m²).

ويعطى هذا العامل كتابع للعرض B العائد لفصيحة تحميل بالحجم الطبيعي وفق:

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{2B}{1+B} \right)^2$$

ومن خلال الحل المرن لنصف الفضاء، يمكن أن يُعبر عن E'_s من خلال نتائج تجربة تحميل الصفيحة باستخدام نسبة ضغط التحميل على هبوط الصفيحة k_v وفق العلاقة:

$$E'_s = \frac{k_v(1-\mu^2)\pi/4}{4B/(1+B)^2}$$

حيث تمثل μ أمثال بواسون، وتُعتبر عادةً ضمن مجال 0.30 إلى 0.40.

تُفترضُ معادلة E'_s أن p_1 مشتقة من التجربة على صفيحة صلبة بقطر دائري 1 ft (0.3048 m) وأن B هو القطر المكافئ لمساحة تحميل الأساس بالقياس الطبيعي الكامل. قد تحمل الصياغات الحلقية (العلاقات المستنتجة عن التجارب الحلقية) خطأ لا يستهان به بسبب المجال المحدود لقياس الأساس المستخدم والتبعثر الكبير لقاعدة البيانات. إضافةً لذلك، عدم إغارة الانتباه للتغيرات في الصفات المميزة للتراب المحملة وتاريخ إجهاذها.

نسبة التحميل الكاليفورنية

تستخدم نسبة التحميل الكاليفورنية (CBR) في معظم الأحيان كقياس لنوعية مقاومة التربة التي تدعم طبقة الرصف بهدف تعيين ثخانة طبقة الرصف وأساسها وكذا ثخانة الطبقات الأخرى.

$$CBR = \frac{F}{F_0}$$

حيث: F = القوة بواحدة المساحة، المطلوبة لاختراق كتلة ترابية بقضيب اسطواني ذي مقطع دائري مساحته 3 in^2 (1935.6 mm^2) (تقريباً بقطر 2 in (50.8 mm)) معدّل 0.05 in/min (1.27 mm/min).

F_0 = القوة بواحدة المساحة، المطلوبة للاختراق المقابل في مادة نموذجية (قياسية).

* باعتبار أن التربة ممتدة إلى ما لا نهاية. (المعدّل)

تُعيّن النسبة، بطريقة نموذجية، عند الاختراق 0.10 in (2.54 mm)، بالرغم من استخدام قيم اختراقات أخرى في بعض الأحيان. وطبقة الأساس الممتازة هي الطبقة التي تمتلك نسبة تحميل (CBR) % 100، وقد يكون للتربة المرصوفة نسبة تحميل (CBR) تعادل % 50، بينما قد يكون للتربة الضعيفة نسبة تحميل (CBR) تعادل % 10.

نفذية التربة

إن عامل النفذية k هو قياس معدل جريان الماء من خلال تربة مشبعة واقعة تحت تأثير تدرّج هيدروليكي مُعطى i ، cm/cm ، ويكون معرفاً وفق قانون دارسي (Darcy) كما يلي:

$$V = K i A$$

حيث:

$$V = \text{معدل الجريان، } \text{cm}^3/\text{s}$$

$$A = \text{مساحة المقطع العرضي للتربة التي ينفذ فيها الجريان، } \text{cm}^2$$

يعتمد العامل k على توزّع الحجم الحبي ونسبة الفراغ وبنية التربة، فهو قد يتغير، بطريقة نموذجية، من جريان يتجاوز 10 cm/s بالنسبة للحصى الخشنة إلى أقل من 10^{-7} cm/s بالنسبة للترب الغضارية. أما في ترب الطمي النموذجية، فيكون k في الجريان الأفقي أكبر من k في الجريان الشاقولي، المتأثر بترتيب توضع كتل الطمي على الأغلب.

Compaction Equipment

معدات الرص

هنالك تنوع "كبير" في الآليات المستخدمة للحصول على الرص المطلوب في الحقل.

فستستخدم مداحل أرجل الغنم (sheepsfoot) عموماً في الترب التي تتضمن نسب مرتفعة من الغضار. وتستخدم المداحل الرجاجة في الترب الأكثر خشونة.

لكي نستطيع أن نحدّد العمق الأعظمي للطبقة المرصوفة، نقوم بتجربة ملء الحفرة. وأثناء إجراء التجربة نستطيع أن نحدّد أيضاً الآلة الأكثر ملاءمة والضغط الواجب تطبيقه، مقدراً بـ lb/in^2 (KPa)، على سطح تماس التربة. فآلة الرص المختارة يجب أن تكون قادرة على إعطاء الرص المطلوب بأربع مرات إلى ثمان مرات من أشواط المرور. كما ويمكن تعيين سرعة الدحل المطلوبة أيضاً. فالسرعة المتوسطة، مقدرة بـ mi/h (km/h)، ضمن الشروط العادية قد أعطيت في الجدول 8.3.

يمكن أن يُحسب ناتج الرص (الإنتاجية) من:

$$(حجم الياردات المكعبة المرصوفة بالساعة) \quad \text{yd}^3 / \text{h} (\text{m}^3 / \text{h}) = \frac{16 \text{WSLFE}}{P}$$

حيث:

W = عرض دولا ب الدحل، (m) ft.

S = سرعة دورات الدحل، mi/h (Km/h).

L = ثخانة الطبقة المرصوفة، (mm) in.

F = نسبة حجم yd^3 (m^3) بعد الرص إلى حجم yd^3 (m^3) غير مرصوص (أي أن هذه النسبة أصغر من الواحد دائماً).

E = عامل المردود أو الكفاءة (يأخذ بعين الاعتبار الضياعات الزمنية، مثل تلك الضياعات الناتجة عن دورانات أو التفافات المدحلة)؛ 0.90 ممتاز، 0.80 متوسط، 0.75 ضعيف.

P = عدد مرات المرور.

الجدول 8.3 متوسط سرعة المداحل

Type	mi/h	(km/h)
Grid rollers	12	(19.3)
Sheepsfoot rollers	3	(4.8)
Tamping rollers	10	(16.1)
Pneumatic rollers	8	(12.8)

صيغ ممانعة التربة للحركة Formulas For Earthmoving

تُبدى القوى الخارجية مقاومة (ممانعة) لحركة دوران الدواليب العربات. مثل الجرارات (Tractors) والسكريرات. ويكون على المحرك أن يقدم الطاقة للتغلب على هذه الممانعة؛ ومع تزايد الممانعة تزداد الطاقة المطلوبة لتحريك الحمولة.

تعتمد مقاومة (ممانعة) دوران الدواليب على الوزن المطبق على الإطارات وكذا على مقدار غوص (اختراق) الإطار المطاطي في الأرض:

$$R = R_f W + R_p p W \quad (8.6)$$

حيث:

R = ممانعة أو مقاومة دوران العجلة، (N) lb.

R_f = عامل ممانعة دوران العجلة، (N/tonne) lb/ton.

W = الوزن المطبق على العجلات، (tonne) ton.

R_p = عامل اختراق الإطار، (N/tonne.mm) lb/ton.in.

p = مقدار اختراق الإطار، (mm) in.

* ton يعني الطن الإنكليزي ويساوي إلى 2240 باوند، ويساوي إلى 2000 باوند في أميركا، أما tonne فهو الطن المتري ويساوي إلى 1000 كغ. ويكتب في معظم الأحيان ton. (المعد).

تؤخذ R_f عادةً مساويةً لـ 40 lb/ton (أو 2 % lb/lb (1173 N/t) وتؤخذ R_p مساويةً لـ 30 lb/ton.in (أو 1.5 % lb/lb.in (3288 N/t.mm).

وبالتالي يمكن أن نكتب المعادلة (8.6) وفق ما يلي:

$$R = (2 \% + 1.5 \% p) W' = R' W' \quad (8.7)$$

حيث:

$W' =$ الوزن المطبق على العجلات، lb (N).

$$2 \% + 1.5 \% p = R'$$

ثمة حاجة إلى تطبيق طاقة إضافية للتغلب على ممانعة دوران العجلات أثناء سير العربات في المنحدرات، وتكون ممانعة الانحدار متناسبة أيضاً مع الوزن:

$$G = R_g s W \quad (8.8)$$

حيث:

$G =$ ممانعة الانحدار، lb (N).

$R_g =$ عامل ممانعة الانحدار = 20 lb/ton (86.3 N/t) ويساوي

$$1 \% \text{ lb/lb} = (N/N)$$

$s =$ الانحدار بنسبة مئوية، موجب في الحركة الصاعدة وسالب في الحركة الهابطة.

وهكذا، تساوي ممانعة الطريق الإجمالية إلى المجموع الجبري لمقاومتي أو ممانعتي الدوران والانحدار، أو أن السحب أو الجر الإجمالي المطلوب، مقدراً بـ lb (N) يساوي إلى:

$$T = (R' + R_g s) W' = (2 \% + 1.5 \% p + 1 \% s) W' \quad (8.9)$$

عدا عن ذلك، من المفترض أن يُطبَّق تسامح لفقدان الطاقة مع الارتفاع (بسبب نقص الأوكسجين الذي يؤدي إلى احتراق غير كامل). فإن تم ذلك، فيسمح

بفقدان نسبة 3 % من قوة الجر لكل 1000 ft (305 m) بعد تجاوز الارتفاع (762 m) 2500 ft.

تعتمد K قيمة قوة الجر P المستخدمة K على الوزن المطبق W على العربات:

$$P = f W \quad (8.10)$$

حيث: f = عامل الجر.

حساب كميات التربة المشحونة

عندما يتم حفر التربة فإنها تتزايد بالحجم أو أنها تنفش، بسبب تزايد الفراغات:

$$V_b = V_L L = \frac{100}{100 + \% \text{ النفش}} V_L \quad (8.11)$$

حيث:

V_b = الحجم الأصلي، yd^3 (أو m^3)، أو بالياردات الطبيعية المكعبة (bank yards)

V_L = الحجم المحمول، yd^3 (أو m^3)، أو بالياردات السائبة (الناجمة عن الحفر) المكعبة (loose yards).

L = عامل الحمولة.

وعندما يتم رص التربة فإنها تتناقص بالحجم:

$$V_c = V_b S \quad (8.12)$$

حيث:

V_c = الحجم المرصوص، yd^3 (أو m^3).

S = عامل الانكماش.

* من الآن فصاعداً سترجم التعبير bank yards بيارات البنك المكعبة وهو عبارة عن حجم الياردات في مكانها الطبيعي أو في وضعها الطبيعي (بدون نفش). (المعد)

إن حجم ياردات البانك (غرفة الاستعارة) المنقولة بوحدة كمية الشحن تساوي إلى وزن الحمولة، المقدرة بـ lb (kg)، مقسومة على كثافة المادة في مكان الحفر، مقدرة بـ lb (kg) على يارد بانك (m^3).

Scraper Production

إنتاجية السكريب

تُقاس الإنتاجية باستخدام ياردات البانك المكعبة (أو أمتار مكعبة) للمادة التي تحفرها الآلة وتُفرغها في ساعة واحدة، وذلك ضمن شروط المهمة المفروضة. وتعطى وفق:

الإنتاجية، bank yd^3/h (m^3/h) = الحمولة، yd^3 (m^3) × عدد الرحلات بالساعة.

$$\frac{\text{زمن التشغيل (العمل)، min/h}}{\text{زمن الدورة، min}} = \text{عدد الرحلات بالساعة}$$

يمكن أن يتم تحديد الحمولة (الشحنة) أو كمية المادة التي تحملها الآلة عن طريق وزن أو تقدير الحجم، فتقدير حجم الحمولة أو الشحنة بالحالة الطبيعية يتضمن تعيين ياردات البانك المكعبة (أمتار مكعبة) المعدة للشحن، في حين أن المادة المحفورة تتمدد عندما تُحمّل في الآلة. فلتعيين ياردات البانك المكعبة (الأمتار المكعبة) من الحجم السائب (المنفوش بعد الحفر)، لابد أن يكون مقدار النفش أو عامل الحمولة معروفاً.

في الحقيقة، طريقة قياس الوزن هي من أكثر الطرق دقة في تعيين الحمولة الفعلية.

ويتم هذا بصورة طبيعية عن طريق أخذ وزن إحدى العجلات أو المحاور فرادى (كلا على حدة) بموازين متنقلة (محمولة)، ثم يتم جمع أوزان العجلات أو المحاور ويُطرح منها الوزن الفارغ. وللتقليل من الخطأ المرتكب، يجب أن تكون الآلة مستوية نسبياً. كما يجب أن يتم وزن عدد كاف من الحمولات للحصول على معدل متوسط جيد:

$$\text{Bank yd}^3 = \frac{\text{وزن الشحنة (الحمولة) (kg)lb}}{\text{كثافة المادة، (kg/m}^3\text{)lb/bankyd}^3}$$

الآليات المطلوبة

لتحديد عدد السكرييرات (Scrapers) المطلوبة للمهمة، لابد أن تُحسب الإنتاجية المطلوبة أولاً:

$$\frac{\text{الكمية، (m}^3\text{)bank yd}^3}{\text{زمن التشغيل (العمل)، h}} = \text{الإنتاجية المطلوبة، (m}^3\text{/h) yd}^3\text{/h}$$

$$\frac{\text{الإنتاجية المطلوبة، (m}^3\text{/h) yd}^3\text{/h}}{\text{الإنتاجية بوحدة القياس، (m}^3\text{/h) yd}^3\text{/h}} = \text{عدد السكرييرات المطلوبة}$$

$$\frac{\text{عدد السكرييرات التي يستطيع الدافع (آلة الجر) أن يسحبها}}{\text{الدورة الزمنية للسكريير، min}} = \frac{\text{الدورة الزمنية للدافع، min}}$$

ولأن السرعة والمسافات تتغير في الذهاب (بالحمولة) والإياب (بدون حمولة)، فيتم تقدير أزمنة الذهاب والإياب على نحوٍ مستقل.

$$\frac{\text{مسافة الذهاب، ft}}{\text{mi/h} \times 88} + \frac{\text{مسافة الإياب، ft}}{\text{mi/h} \times 88} = \text{تغير الزمن، min}$$

$$\frac{\text{مسافة الذهاب، m}}{\text{km/h} \times 16.7} + \frac{\text{مسافة الإياب، m}}{\text{km/h} \times 16.7} =$$

يمكن الحصول على سرعة الذهاب (بالحمولة) من خلال نشرة مواصفات الآلة عندما تكون قيمة قوة قضيب الجر المطلوبة معروفة.

التحكم بالاهتزازات الناتجة عن عملية النسف (التفجير)

Vibration Control In Blasting

لا بد لمستخدمي المتفجرات أن يكونوا فاعلين في تخفيض الاهتزازات والضجيج الناتجة عن عمليات النسف إلى أدنى مستوى وحماية أنفسهم من الادعاءات الموجهة ضدهم.

يزداد انتشار الاهتزازات الناتجة عن عملية النسف مع السرعة V ، (m/s) ft/s، والتردد f ، Hz ، وطول الموجة L ، (m) ft، التي ترتبط مع بعضها بالعلاقة:

$$L = \frac{V}{f}$$

سرعة الجزيئات v ، (mm/s) in/s، المضطربة بواسطة الاهتزازات، تعتمد على سعة الاهتزازات A ، (mm) in:

$$v = 2 \pi f A$$

فإذا كانت السرعة v_1 على مسافة D_1 من الانفجار معلومة، فإن السرعة v_2 على مسافة D_2 من الانفجار يمكن أن يتم تقديرها من:

$$v_2 \approx v_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{1.5}$$

يُعطى تسارع الجزيئات a ، (mm/s^2) in/s²، بالعلاقة:

$$a = 4 \pi^2 f^2 A$$

بما يخص شحنة تنفجر على سطح الأرض، يمكن أن يُحسب الضغط الزائد P ،
(KPa) lb/in²، من العلاقة:

$$P = 226.62 \left(\frac{W^{1/3}}{D} \right)^{1.407}$$

حيث:

W = الوزن الأعظمي للمواد المتفجرة مقدراً بـ lb (kg) بالإعاقاة* (Per delay)

D = المسافة، ft (m)، من مكان الانفجار إلى المكان المعرض لضغط الانفجار.

يمكن أن يُحسب مستوى ضغط الصوت، ديسيبل (decibels)، من العلاقة:

$$dB = \left(\frac{P}{6.95 \times 10^{-28}} \right)^{0.084}$$

ولكي يتم التحكم بالاهتزازات، يجب أن تتم إدارة عملية النسف بمساعدة صيغة
المسافة القياسية (العبارة):

$$v = H \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$$

حيث:

β = ثابت (يتغير بتغير الموقع).

H = ثابت (يتغير بتغير الموقع).

تُعرّف المسافة إلى المكان المعرض لاهتزازات الانفجار، ft (m)، المقسومة على
الجذر التربيعي لكمية الباوندات (kg) العظمى بالإعاقاة، بالمسافة العيارية.

* المقصود بهذا التعبير أنه يوجد في كل مكان إعاقاة معينة للاهتزازات تتغير بتغير المكان. ولكن يجب ألا تزيد
كمية المتفجرات عن حد معين بحيث لا يمكن الاستفادة من الإعاقاة.

لقد قُبِلَتْ وأقرَّتْ في معظم قاعات المحاكم حقيقة أن سرعة الجريئة التي لا تتجاوز 2 in/s (50.8 mm/s) لا تسبب أي ضرر يذكر في أي منشأ. ويتضمن هذا، بما يخص السرعة، أن ضرر الاهتزاز يكون مستبعداً على مسافات عيارية تتجاوز 8.

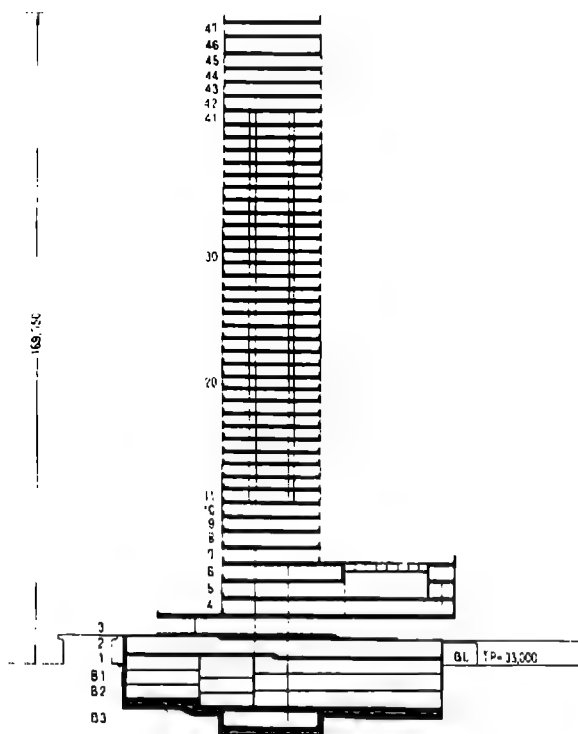
9

تصميم عناصر الأبنية
والمنشآت العامة

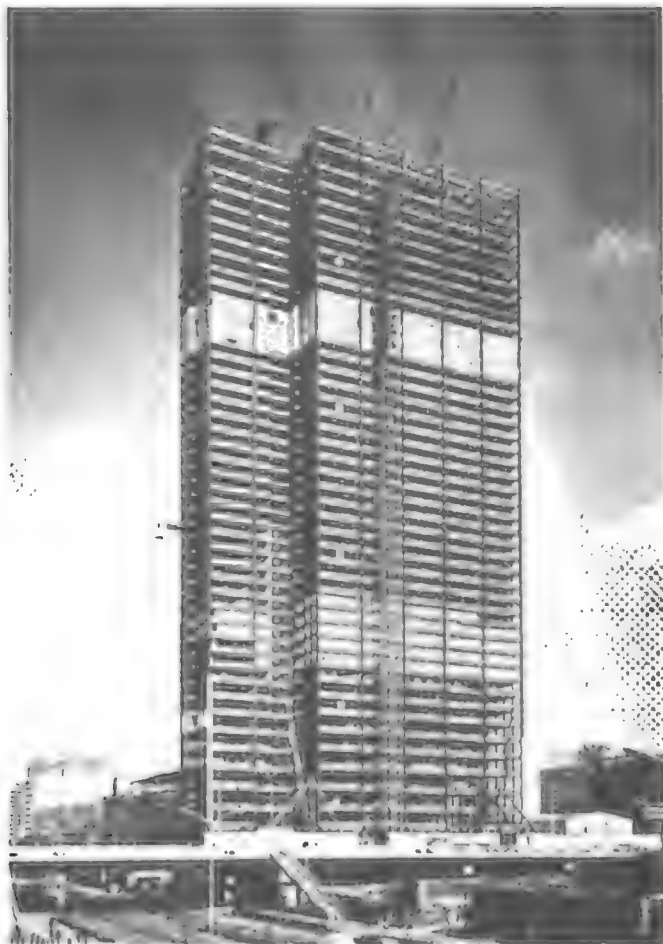
**Building And Structures
Formulas**

قبل الشروع في دراسة هذا الفصل، يفترض بالمهندس الدارس أن يكون مطلعاً على المنشآت المختلطة وكيفية تصميم وتقوية وتثبيت عناصرها الإنشائية. ويستخدم الإنشاء المختلط عادةً في الأبنية الضخمة (ناطحات السحاب) والمنشآت الاستراتيجية الهامة التي عليها أن تواجه حمولات اهتزازي (رياح، زلازل، هبوط وإقلاع طائرة عمودية، ... الخ).

نماذج من مباني متعددة الطوابق



مخطط نمطلي لمبنى مؤلف من 47 طابقاً وبارفاع إجمالي 169.75m



صورة لمبنى إنشاء مختلط

عامل تصميم الحمولة والمقاومة الخاص بإجهاد القص المؤثر في عناصر المباني

Load-And-Resistance Factor Design For Shear In Buildings

يمكن حساب السعة القصية (قدرة المقاومة على القص) V_u ، مقدرة بـ Kip ($KN = 4.448 \times Kip$)، للعناصر المرونية، وذلك بالاعتماد على مواصفات المعهد الأمريكي لفولاذ الإنشاء (AISC) الخاصة بعامل تصميم الحمولة والمقاومة (LRFD) للأبنية، من العلاقات التالية:

$$\frac{h}{t_w} \leq \alpha \text{ عندما } V_u = 0.54 F_{yw} A_w$$

$$\alpha < \frac{h}{t_w} < 1.25\alpha \text{ عندما } V_u = \frac{0.54\alpha F_{yw} A_w}{h/t_w}$$

$$\frac{h}{t_w} > 1.25\alpha \text{ عندما } V_u = \frac{23,760k A_w}{(h/t_w)^2}$$

حيث

F_{yw} = إجهاد الخضوع المُمَيَّز الأصغري للجسد، Ksi ($MPa = 6.894 \times Ksi$).

A_w = مساحة الجسد، $(mm^2) \text{ in}^2$

$$\alpha = 187\sqrt{k/F_{yw}}$$

$k = 5$ إذا كانت a/h تتجاوز 3.0 أو $67,600/(h/t_w)^2$ ، أو إذا لم تكن قطع التقوية مطلوبة.

$$\text{وإلا فإن } \frac{5}{(a/h)^2} + 5 = k$$

وتكون قطع التقوية مطلوبة عندما يتجاوز القص قيمة V_u . قد لا تتجاوز النسبة h/t_w في الجيزان العرضية اللامقواة القيمة 260. أما في الجيزان العرضية المزودة بقطع

تقوية فإن قيمة h/t_w المسموحة الأعظمية تساوي $2,000\sqrt{F_{yf}}$ من أجل $a/h \leq 1.5$ أو تساوي $14,000/\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 16.5)}$ من أجل $a/h > 1.5$.
 حيث: F_{yf} إجهاد الخضوع المميز الأصغري للجناح، مقدراً بـ Ksi.
 بما يخص السعة القصية (قدرة مقاومة القص) ضمن مجال فعل الشد، يمكن العودة إلى مواصفات الـ AISC الخاصة بعامل تصميم الحموله والمقاومة (LRFD).

إجهاد التصميم المقبول* في أعمدة الأبنية

Allowable-Stress Design For Building Columns

تُعطي مواصفات الـ AISC الخاصة بإجهاد التصميم المقبول (ASD) للأبنية صيغتين لحساب إجهاد الضغط المقبول F_c في العناصر الرئيسية، Ksi (MPa). وتعتمد الصيغة المستخدمة على علاقة أمثال النحافة الأكبر الفعّال Kl/r ، للمقطع العرضي لأي قطعة غير مقواة، مع العامل C_c المعرّف بالمعادلة التالية والجدول 9.1:

الجدول 9.1	قيم C_c
F_y	C_c
36	126.1
50	107.0

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{756.6}{\sqrt{F_y}}$$

حيث:

E = معامل مرونة الفولاذ ويساوي:

* أو إجهاد التصميم المسموح. (المعدّ).

$$= 29,000 \text{ Ksi } (128.99 \text{ GPa}).$$

F_y = إجهاد خضوع الفولاذ، Ksi (MPa).

وعندما تكون Kl/r أقل من C_c فإن:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{F.S.}$$

حيث:

$$F.S. = \text{عامل الأمان} = \frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3} \quad (\text{تقرأ من اليمين إلى اليسار})$$


وعندما تتجاوز Kl/r قيمة C_c فإن:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} = \frac{150,000}{(Kl/r)^2}$$

قد يكون عامل الطول الفعال K ، المساوي إلى نسبة طول العمود الفعال إلى الطول الفعلي اللامقوى، أكبر أو أقل من 1.0. والقيم النظرية لـ K العائدة لستة شروط مثالية، التي يكون فيها دوران وانتقال المفصل مُحققاً تماماً أو غير موجود، تم سردها في الشكل 9.1.



معظم هذه المباني ذات إنشاء مختلط

شكل تحنيط العمود موضح بالخط المنقطع	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
القيمة النظرية لـ K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
قيمة التصحيح الموصى بها عندما تكون الشروط المثالية تقريبية	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
شروط النهاية (حالات الاستناد)	 ROTATION FIXED AND TRANSLATION FIXED ROTATION FREE AND TRANSLATION FIXED ROTATION FIXED AND TRANSLATION FREE ROTATION FREE AND TRANSLATION FREE					

الشكل 9.1 قيم عامل الطول الفعال K الخاص بالأعمدة.

عامل تصميم الحمولة والمقاومة لأعمدة الأبنية

Load-And-Resistance Factor Design For Building Columns

يتم قبول التحليل اللدن للعناصر المشورية المضغوطة في الأبنية في حال لم تتجاوز $\sqrt{F_y} (1/r)$ إلى 800 وكانت $F_u \geq 65 \text{ Ksi}$ أو 448 MPa . ويمكن حساب الحمولة القصوى P_u في العناصر المحملة محورياً مع الشرط $b/t \geq \lambda_y$ ، من العلاقة:

$$P_u = 0.85 A_g F_{cr}$$

حيث:

A_g = مساحة المقطع الخامي (الإجمالي) للعنصر.

$$F_{cr} = 0.6582 F_y \text{ من أجل } \lambda \leq 2.25$$

$$= 0.877 F_y / \lambda \text{ من أجل } \lambda > 2.25$$

$$\left(\frac{F_y}{286,220} \right) \left(\frac{Kl}{r} \right)^2 = \lambda$$

تُعرض مواصفات الـ AISC الخاصة بعامل تصميم الحمولة والمقاومة (LRFD) الصيغ العائدة لتصميم الأعضاء المزودة بعناصر النحافة.

إجهاد التصميم المقبول في جيزان الأبنية

Allowable-Stress Design For Building Beams

إجهاد الليف الأعظمي في حالة الانعطاف في الجيزان والجيزان الرئيسية المستندة أفقياً هو $F_b = 0.66 F_y$ وذلك إذا كانت هذه الجيزان ذات مقاطع مرصوفة، باستثناء الجيزان الرئيسية المختلطة والأعضاء بنقاط خضوع تتجاوز (448.1 MPa) 65 Ksi. أما في مقاطع الجيزان اللامرصوفة فإن $F_b = 0.60 F_y$ و F_y هي مقاومة الخضوع الأصغر المميز (النوعية) للفلوذا، (MPa) Ksi. يسرد الجدول 9.2 قيم F_b من أجل صنفين من الفلواذا.

الجدول 9.2 إجهادات الانعطاف المقبولة في الجيزان غير المقواة في الأبنية.

مقاومة الخضوع	مقاطع مرصوفة	مقاطع غير مرصوفة
Ksi (MPa)	$0.66 F_y$ (MPa)	$0.60 F_y$ (MPa)
36 (248.2)	24 (165.5)	22 (151.7)
50 (344.7)	33 (227.5)	30 (206.8)

يُطبق إجهاد الليف الأبعد المقبول المساوي لـ $0.60 F_y$ على الأعضاء المستندة أفقياً وكذا اللاتناظرية، باستثناء الأعضاء ذات المقاطع التي على شكل أقبية والمقاطع الصندوقية اللامرصوفة. ويجب ألا يتجاوز الضغط على السطوح الخارجية للأقبية التي تنحني حول محورها الرئيسي القيمة $0.60 F_y$ أو القيمة المعطاة بالمعادلة (9.5). (والتي سترد بعد قليل).

يجب أن يتم تخفيض الإجهاد المقبول $0.66 F_y$ ، العائد للأعضاء المرصوفة، إلى $0.60 F_y$ عندما يكون جناح الضغط غير مسنود حتى طول، مقدراً بـ (mm) in، يتجاوز أصغر الطولين:

$$l_{\max} = \frac{76.0 b_f}{\sqrt{F_y}} \quad (9.1)$$

$$l_{\max} = \frac{20.000}{F_y d / A_f} \quad (9.2)$$

حيث:

b_f = عرض جناح الضغط، (mm) in.

d = عمق (تدلي) الجائز، (mm) in.

A_f = مساحة جناح الضغط، (mm²) in².

ويجب أن يتم تخفيض الإجهاد المقبول إلى أقصى حد وذلك عندما تتجاوز النسبة l/r_T حدوداً معينة، حيث l هو الطول اللامقوى، (mm) in، لجناح الضغط، و r_T هو نصف قطر العطالة، (mm) in، للجزء من الجائز المؤلف من جناح الضغط وثالث الجسد المعرض للضغط.

فمن أجل:

$$\sqrt{102,000 C_b / F_y} \leq l / r_T \leq \sqrt{510,000 C_b / F_y}$$

استخدم العلاقة:

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (l / r_T)^2}{1,530,000 C_b} \right] F_y \quad (9.3)$$

ومن أجل:

$$1/r_T > \sqrt{510,000 C_b / F_y}$$

استخدم العلاقة:

$$F_b = \frac{170,000 C_b}{(l/r_T)^2} \quad (9.4)$$

حيث:

C_b = عامل تعديل (مُعدّل) تدرّج العزم (المعادلة 9.6).

وعلى أي حال، عندما يكون جناح الضغط صلباً وذا مقطع مستطيل تقريباً ومساحته لا تقل عن مساحة جناح الشد، فيمكن أن يؤخذ الإجهاد المقبول وفق ما يلي:

$$F_b = \frac{12,000 C_b}{l d / A_f} \quad (9.5)$$

وعندما تُطبّق المعادلة (9.5) (باستثناء تطبيقها على الجيزان التي لها شكل قناة)، فيجب أن تؤخذ F_b وفقاً لأكبر القيم المحسوبة من المعادلات (9.5) و(9.3) أو (9.4)، ولكن بحيث لا تزيد عن $0.60 F_y$.

يمكن أن يُحسب عامل تدرج العزم C_b الوارد في المعادلات (9.3) إلى (9.5) من العلاقة:

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad (9.6)$$

حيث:

M_1 = العزم الأصغر في أحد مسنديّ الجائز.

M_2 = العزم الأكبر في المسند الآخر للجائز.

الإشارة الجبرية لـ M_1/M_2 موجبة في الانعطاف ثنائي الانحناء وسالبة في الانعطاف أحادي الانحناء. وعندما يكون عزم الانعطاف في أي نقطة ضمن الطول اللامقوى أكبر من ذلك الانعطاف عند كلا النهايتين (المسندين)، فعندها يجب أن تؤخذ قيمة C_b مساوية للواحد. ويجب أن تؤخذ قيمة C_b في الإطارات المقواة (الهياكل) مساوية للواحدة من أجل حساب F_{hy} و F_{hx} .

المعادلتان (9.4) و (9.5) يمكن أن يتم تبسيطهما بإدخال تسمية جديدة:

$$Q = \frac{(1/r_T)^2 F_y}{510,000 C_b} \quad (9.7)$$

الآن، ومن أجل: $0.2 \leq Q \leq 1$ يكون:

$$F_b = \frac{(2 - Q) F_y}{3} \quad (9.8)$$

ومن أجل: $Q > 1$ يكون:

$$F_b = \frac{F_y}{3Q} \quad (9.9)$$

وبالنظر إلى المعادلات السابقة، عندما تطبق المعادلة (9.5) (باستثناء الجيزان ذات المقاطع التي على شكل أقيّة)، فإن F_b يجب أن تؤخذ وفقاً لأكبر القيم المعطاة بالمعادلات (9.5) و (9.8) أو (9.9)، إلا أنها يجب ألا تزيد عن $0.60 F_y$.

عامل تصميم المقاومة والحمولة الخاص بجيزان البناء

Load-And-Resistance Factor Design For Building Beams

يعطى الطول اللامقوى L_p لجناح الضغط والذي قد لا يتجاوز L_{pd} من أجل مقطع مرصوص ينحني حول المحور الرئيسي، وحيث يمكن أن تتشكل المفاصل اللدنة عند الانهيار، يعطى بالمعادلتين (9.10) و (9.11). أما بما يخص الجيزان التي

تحتوي حول المحور الثانوي وكذا الجيزان ذات المقاطع المربعة والدائرية، فإن L_n لا تكون منحسرة في التحليل اللدن.

وبما يخص الجيزان التي مقاطعها على شكل I والمتناظرة حول المحورين الرئيسي والثانوي أو المتناظرة حول المحور الثانوي مع جناح ضغط مساحته أكبر من مساحة جناح الشد، والتي تضم الجيزان الرئيسية المختلطة، فتحمل في مستوي الجسد:

$$L_{pd} = \frac{3600 + 2200(M_I / M_p)}{F_{yc}} r_y \quad (9.10)$$

حيث:

F_{yc} = إجهاد الخضوع الأصغري لجناح الضغط، (MPa) Ksi

M_I = أصغر العزمين عند طرفي (مسندي) الطول اللامقوى للحائز، (mm.MPa) in.Kip

M_p = العزم اللدن، (mm.MPa) in.Kip.

r_y = نصف قطر الدوران حول المحور الثانوي، (mm) in

يساوي العزم اللدن M_p إلى $F_y Z$ في المقاطع المتجانسة، حيث:

Z = معامل اللدونة، $(mm^3) in^3$ ، وقد يُحسب في الجيزان الرئيسية المختلطة من أجل توزع لدن على نحو كلي. M_I/M_p موجبة في الجيزان ذات الانحناء السالب (المقلوب).

بما يخص القضبان المستطيلة الصماء والجيزان الصندوقية المتناظرة يكون:

$$L_{pd} = \frac{5000 + 3000(M_I / M_p)}{F_y} r_y \geq 3000 \frac{r_y}{F_y} \quad (9.11)$$

يتم تعيين مقاومة التصميم المرونية $0.90 M_n$ بالحالة الحدية للتحنيب الفتلي الجاني (الأفقي)، ويجب أن يتم حسابها من أجل منطقة آخر مفصل يتشكل ومن أجل المناطق غير المجاورة للمفصل اللدن. وتعطي المواصفات صيغ M التي تعتمد على الشكل الهندسي للمقطع والتقوية المزودة لجناح الضغط.

فمثلاً، في المقاطع المرصوفة التي تنحني حول المحور الرئيسي، تعتمد M_{II} على الأطوال غير المقواة التالية:

L_p = المسافة بين النقاط المقواة ضد الإزاحة الجانبية لجناح الضغط أو المسافة بين النقاط المقواة لمنع الفتل، مقدرة بـ (mm).

L_p = الطول غير المقوى جانبياً المُحدَّد لسعة الانعطاف اللدنة التامة، ويساوي

$$\frac{300r_y}{\sqrt{F_{yf}}} = \text{لمقاطع الجيزان التي على شكل I وكذا الأفقية، ويساوي}$$

$$\frac{3750(r_y / M_p)}{\sqrt{JA}} = \text{للقضبان (الجيزان النحيلة) التي مقطعها مستطيل أصم وكذا}$$

للجيزان الصندوقية.

F_{yf} = إجهاد خضوع الجناح، (MPa) Ksi.

J = ثابت الفتل، in^4 (mm⁴) انظر AISC "نشرة فولاذ الإنشاء" حول عامل تصميم الحمولة والمقاومة — (LRFD).

A = مساحة المقطع العرضي، in^2 (mm²)

L_r = الطول الغير مقوى جانبياً المُحدَّد للتحنيب الجانبي اللامرن، (mm) in.

وفي الجيزان I المتناظرة حول المحور الرئيسي أو الثانوي أو المتناظرة حول المحور الثانوي مع مساحة جناح ضغط أكبر من مساحة جناح الشد وكذا في جيزان الأفقية (I، L) المُحمَّلة في مستوي الجسد، يكون:

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_{yw} - F_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}} \quad (9.12)$$

حيث:

F_{yw} = إجهاد الخضوع الأصغري المُمَيَّز للجسد، (MPa) Ksi.

F_r = إجهاد الضغط المتبقي في الجناح ويساوي

$= 10 \text{ Ksi (68.9 MPa)}$ من أجل المقاطع المدلفنة، و $16.5 \text{ Ksi (113.6 MPa)}$ من أجل المقاطع الملحومة.

F_L = أصغر القيمتين $(F_{yt} - F_r)$ أو F_{yw} .

F_{yt} = إجهاد الخضوع الأصغري المميز للجناح، Ksi (MPa) .

$$X_1 = (\pi / S_x) \sqrt{E G J A / 2}$$

$$X_2 = (4 C_w / I_y) (S_x / G J)^2$$

E = معامل مرونة الفولاذ.

G = معامل مرونة القص.

S_x = معامل المقطع حول المحور الرئيسي، مقدراً بـ $\text{in}^3 (\text{mm}^3)$ (بالنسبة لجناح الضغط إذا كان ذلك الجناح أكبر من جناح الشد).

C_w = ثابت الفتل، $\text{in}^6 (\text{mm}^6)$ (انظر نشرة الـ AISC حول LRFD).

I_y = عزم العطالة حول المحور الرئيسي، $\text{in}^4 (\text{mm}^4)$.

ويمكن حساب عزم التحنيب المحدد M_r بالنسبة للأشكال أو المقاطع المذكورة سابقاً، مقدراً بـ MPa ، من:

$$M_r = F_L S_x \quad (9.13)$$

وبما يخص الجيزان ذات المقاطع المرصوفة مع الشرط $L_b \leq L_p$ ، يكون الانعطاف حول المحور الرئيسي:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad (9.14)$$

حيث:

$$C_h = 1.75 + 1.05 (M_1/M_2) + 0.3 (M_1/M_2) \leq 2.3$$

حيث M_1 عزم الانعطاف الأصغر في الطرف الأول و M_2 عزم الانعطاف الأكبر في الطرف الآخر (المسند الآخر) في القطعة اللامقواة من الجائز. و M_1/M_2 موجبة من أجل الانحناء (الانعطاف) السالب، وتساوي إلى 1.0 من أجل الأظفار اللامقواة والجيزان ذات العزوم الأكبر من عزوم القطع اللامقواة المساوية إلى أو الأكبر من أكبر عزمي طرفي القطعة.

(راجع)

Galambos, T. V., Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 4th ed., John Wiley & Sons, New York

من أجل استخدام أكبر قيم (C_h)

تعطى L_r في القضبان (الجيزان النحيفة) ذات المقطع المستطيل المملئ والتي تنحني أو تنعطف حول المحور الرئيسي بـ:

$$L_r = 57,000 \left(\frac{r_y}{M_r} \right) \sqrt{JA} \quad (9.15)$$

ويعطى عزم التحنيب المحدد بـ:

$$M_r = F_y S_x \quad (9.16)$$

ويجب أن يتم تعيين M_r ، في المقاطع الصندوقية المتناظرة والمحملة في مستوي التناظر والتي تنحني حول المحور الرئيسي، من المعادلة (9.13) وأن يتم تعيين L_r من المعادلة (19.5).

يكون الانعطاف حول المحور الرئيسي، في الجيزان المتراصة مع $L_r > L_b$ ، مساوياً إلى:

$$M_n = M_{cr} \leq C_h M_r \quad (9.17)$$

حيث:

M_{cr} = العزم المرن الحرج، (MPa.mm) Kip.in.

ومن أجل المقاطع التي تطبق عليها المعادلة (9.17) يكون:

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + I_y C_w \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2} \quad (9.18)$$

ويكون M_{cr} بالنسبة للقضبان ذات المقطع المستطيل المثلث والمقاطع الصندوقية المتناظرة:

$$M_{cr} = \frac{57,000 C_b \sqrt{JA}}{L_b / r_y} \quad (9.19)$$

بما يخص تعيين المقاومة المرونية للجزان المصفحة اللامتراسة والأشكال الأخرى اللامغطاة بالمتطلبات (المقويات) السابقة، عُد إلى نشرة الـ AISC حول الـ LRFD.

تصميم الإجهاد المقبول للقص المؤثر في المباني

Allowable-Stress Design For Shear In Buildings

تُميز مواصفات الـ AISC، الخاصة بتصميم الإجهاد المقبول (ASD)، إجهادات القص المقبولة F_v التالية، مقدرة بـ Ksi ($Ksi \times 6.894 = MPa$):

$$\begin{aligned} F_v &= 0.40 F_y & \frac{h}{t_w} &\leq \frac{380}{\sqrt{F_y}} \\ F_v &= \frac{C_v F_y}{289} \leq 0.40 F_y & \frac{h}{t_w} &> \frac{380}{\sqrt{F_y}} \end{aligned}$$

حيث:

$$C_v < 0.8 \text{ من أجل } C_v = 45,000 K_v / F_y (h/t_w)^2$$

$$C_v > 0.8 \text{ من أجل } C_v = \sqrt{36,000 K_v / F_y (h/t_w)^2}$$

$$a/h < 1.0 \text{ من أجل } K_v = 4.00 + 5.34/(a/h)^2$$

$$a/h > 1.0 \text{ من أجل } k_v = 5.34 + 4.00/(a/h)^2$$

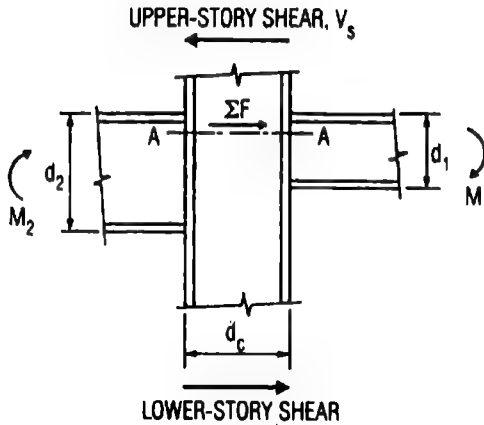
a = المسافة الصافية بين المقويات المعرضة (الموضوعة عرضياً أو المستعرضة) ويكون إجهاد القص المقبول في حقل تأثير أو فعل الشد:

$$F_v = \frac{F_y}{289} \left[C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \leq 0.40 F_y$$

حيث: $C_v \leq 1$

وعندما يتجاوز القص في الجسد قيمة F_y ، تكون عندئذ المقويات مطلوبة.

إجهادات القص في الأجساد هي إجهادات كبيرة عموماً وذلك ضمن حدود وصلة صلابة لعنصرين أو أكثر بأجساد تمتد في المستوي المشترك بينها. وتُحدّد جملة التعليقات على مواصفات الـ AISC للأبنية أن مثل هذه الأجساد يجب أن تكون مسلحة عندما تكون إجهادات القص المحسوبة، كذلك الإجهادات الموجودة على امتداد المستوي AA في الشكل 9.2، متجاوزة F_v . يعني: عندما تكون ΣF أكبر من $F_v t_w d_c$. حيث: d_c هو التدلي (العمق) و t_w نخانة الجسد للعنصر المقاوم لـ ΣF .



الشكل 9.2 وصلة صلبة من العناصر الفولاذية بأجساد واقعة في المستوى المشترك

يمكن أن يُحسب القص من العلاقة:

$$\Sigma F = \frac{M_1}{0.95d_1} + \frac{M_2}{0.95d_2} - V_s$$

حيث:

V_s = القص المؤثر في المقطع.

$$M_{1L} + M_{1G} = M_1$$

M_{1L} = العزم الناشئ عن الوزن الذاتي في الجانب الموافق لاتجاه الرياح على الوصلة.

M_{1G} = العزم الناشئ عن الحمولة الجانبية على الطرف الموافق لاتجاه الرياح على الوصلة.

$$M_{2L} - M_{2G} = M_2$$

M_{2L} = العزم الناشئ عن الحمولة الجانبية على الجانب (الطرف) المحابه لهبوب الرياح على الوصلة.

$M_{20} =$ العزم الناشئ عن الحمولة الذاتية على الجانب المجابه لهبوب الرياح على الوصلة.

الإجهادات في القشريات الرقيقة Stresses In Thin Shells

يتم التعبير عن نظريتي الانعطاف والأغشية (القشريات) باستخدام وحدات القوى ووحدات العزم التي تؤثر أو تفعل بوحدة الطول فوق ثخانة رقيقة من القشرة. ولحساب وحدات الإجهادات الناتجة عن تأثير هذه القوى والعزوم، فإن الطريقة الاعتيادية المتبعة هي افتراض قوى ناظمية وقوى قص موزعة بانتظام على ثخانة القشرة وإجهادات انعطاف موزعة بصورة خطية.

وبالتالي، يمكن أن تُحسب الإجهادات النازمية من معادلات من الشكل:

$$f_x = \frac{N_x}{t} + \frac{M_x}{t^3/12} z \quad (9.20)$$

حيث:

$z =$ المسافة بدءاً من منتصف السطح.

$t =$ ثخانة القشرة.

$M_x =$ واحدة عزم الانعطاف حول المحور الموازي لاتجاه واحدة القوة النازمية N_x .

وبطريقة مماثلة، يمكن أن تُحسب إجهادات القص الناتجة عن قوى القص المركزية T وعزوم الفتل D من معادلات من الشكل:

$$V_{xy} = \frac{T}{t} \pm \frac{D}{t^3/12} z \quad (9.21)$$

وإجهادات القص النازمية يمكن أن تُحسب بالاستناد على فرضية أن توزع الإجهاد على شكل قطع مكافئ فوق ثخانة القشرة:

$$V_{xz} = \frac{V}{t^3/6} \left(\frac{t^2}{4} - z^2 \right) \quad (9.22)$$

حيث: V = واحدة قوة القص النازمية على منتصف (وسط) السطح.

Bearing Plates

صفائح التحميل

يتم تعيين طول التحميل الأصغري N لصفيحة التحميل، في الاتجاه الموافق لمجاز الجائز، لمقاومة رد فعل الجائز، بوساطة المعادلات الخاصة بمنع الخضوع المحلي للحسد وكذا إرهاب الجسد. فتكبير N يكون مرغوباً عادةً إلا أنه يمكن أن يكون منحسراً ومحدداً بتوفير ثخانة كافية.

عندما تغطي الصفيحة المساحة الكاملة للمسند البيتوني، فإن مساحة الصفيحة المطلوبة، مقدرة بـ $(mm^2) in^2$ ، هي:

$$A_1 = \frac{R}{0.35f'_c}$$

حيث:

R = رد فعل الجائز، (KN) Kip.

f'_c = مقاومة الضغط المميزة (النوعية) للبيتون، (MPa) Ksi.

وعندما تغطي الصفيحة مساحة تقل عن المساحة الكاملة للمسند البيتوني، فإن مساحتها، وفق ما هو مُحدد في الجدول 9.3، تُعطى بـ:

$$A_1 = \left(\frac{R}{0.35f'_c \sqrt{A_2}} \right)^2$$

حيث:

A_2 = مساحة المقطع العرضي كاملاً للمسند البيتوني، $(mm^2) in^2$.

الجدول 9.3 إجهاد التحميل المسموح (المقبول) F_b ، على البتون والحجر*

$0.35 f'_c$	المساحة كاملة للمسند البتوني
$0.35 f'_c \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \leq 0.70 f'_c$	أقل من المساحة الكاملة للمسند البتوني
0.40	حجر رملي وحجر جيري
0.25	قرميد أو طوب من الملاط الاسمتي

* الوارادة بـ: $\text{MPa} = 6.895 \times \text{Ksi}$


بتثبيت قيمة N ، المدوّرة عادةً إلى عدد صحيح من الإنشات (الميليمترات)، يمكن أن يُحسب العرض الأصغري للصفحة B ، مقدراً بـ mm in، بتقسيم A_1 على N ثم تدوير الناتج إلى عدد صحيح من الإنشات (الميليمترات) وبحيث يكون $BN \geq A_1$. وبالتالي يساوي ضغط التحميل الفعلي f_b أسفل الصفحة، مقدراً بـ Ksi (MPa)، إلى:

$$f_p = \frac{R}{BN}$$

تُعيّن ثخانة الصفحة عادةً بالاستناد على فرضية الانعطاف الظفري للصفحة:

$$t = \left(\frac{1}{2} B - k \right) \sqrt{\frac{3f_p}{F_b}}$$

حيث:

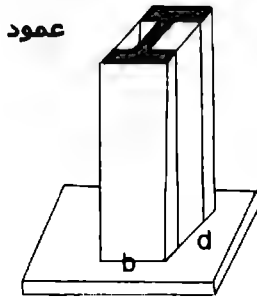
t = الثخانة الأصغرية للصفحة، mm in
 k = المسافة من أسفل الجائز إلى قمة عصابة الجسد

 ، مقدرة بـ mm in.
 F_b = إجهاد الانعطاف المقبول للصفحة، Ksi (MPa).

Column Base Plates

صفائح قواعد الأعمدة

لا بد أن تؤخذ المساحة A_1 ، المقدرة بـ in^2 (أو mm^2)، المطلوبة لصفحة القاعدة تحت العمود المستند على البيتون من المعادلة التي سبق ذكرها، مع أخذ R كحمولة إجمالية على العمود، مقدرة بـ Kip ، أو من المعادلة:

$$A_1 = \frac{R}{0.70f'_c}$$



وما لم تكن بروزات الصفحة إلى ما بعد حدود العمود صغيرة، فيمكن أن تُصمَّم الصفحة كظفر يُفترض أنه موثوق عند حواف مستطيل ذي أضلاع تساوي إلى 0.80 b و d 0.95، حيث b عرض جناح العمود، d و b (mm)، و d عمق العمود، b (mm).

وللتقليل من متطلبات المواد إلى الحد الأدنى، يفترض أن تؤخذ بروزات الصفحة متساوية تقريباً. ولتحقيق هذا الغرض، فإن طول الصفحة N (وفق اتجاه d) يمكن أن يؤخذ، مقدراً بـ (mm)، وفق العلاقة:

$$N = \sqrt{A_1} + 0.5(0.95d - 0.80b)$$

وبالتالي يمكن أن يُحسب عرض الصفحة B ، مقدراً بـ (mm)، بتقسيم A_1 على N . ويمكن أن يتم اختيار كل من B و N بعدد صحيح من الإنشات (المليمترات) بحيث تتحقق $BN \geq A_1$. وفي تلك الحالة، يمكن أن يتم تعيين ضغط التحميل f_p ، Ksi (أو MPa)، من المعادلة السابقة. وثخانة الصفحة، المعينة بالانعطاف الطفري، تعطى بالعلاقة:

$$t = 2p \sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

حيث:

F_y = مقاومة الخضوع المميزة الأصغرية للصفیحة، Ksi (MPa).

p = أكبر من القيمتين: $0.5 (N - 0.95 d)$ و $0.5 (B - 0.80 b)$

عندما تكون بروزات الصفیحة صغيرة، فإن المساحة A_2 يجب أن تؤخذ كمساحة أعظمية للجزء من سطح الاستناد المشابه هندسياً والمتمركز مع المساحة المحملة. وعليه، في مقطع العمود الذي على شكل H ، يمكن أن تُفرض حمولة العمود موزعة على البیتون فوق مساحة المقطع ذي الشكل H بثخانة جناح L ، مقدرة بـ (mm) in، وثخانة جسد $2L$:

$$L = \frac{1}{4}(d+b) - \frac{1}{4} \sqrt{(d+b)^2 - \frac{4R}{F_p}}$$

حيث:

F_b = ضغط التحميل المقبول على المسند، Ksi (MPa).

(إذا كان L عدداً تخيلاً، فإنه يمكن افتراض أن الجزء المحمل من سطح الاستناد مستطيل وفقاً للمناقشة السابقة.) ويجب أن تؤخذ ثخانة صفیحة القاعدة مساوية لأكبر القيم المحسوبة من المعادلة السابقة ومن المعادلة:

$$t = L \sqrt{\frac{3f_p}{F_b}}$$

التحميل على السطوح المدلفنة (سطوح إسناد غير مثبتة)

Bearing On Milled Surfaces

إجهاد التحميل المقبول على السطوح المدلفنة التي تتضمن مقويات تحميل ودُسر (مسامير كبيرة) مغروسة في ثقب موسعة أو محفورة أو بحوّة، وذلك في إنشاء الأبنية، هو: $F_b = 0.90 F_y$ ، حيث F_y مقاومة الخضوع للفلاد، (MPa) Ksi.

وبما يخص تمدد الدلافين والقطع المهتزة، يكون إجهاد التحميل المقبول، مقدراً بـ Kip/linear in (KN/mm)، مساوياً إلى:

$$F_p = \frac{F_y - 13}{20} 0.66d$$

حيث: d قطر الدلفين أو القطعة المهتزة، مقدراً بـ in (mm).

وعندما يكون للأجزاء المتماسمة مقاومات خضوع مختلفة، فإن F_y هي القيمة الأصغر.

صفائح تقوية الجيزان العرضية الرئيسية في المباني

Plate Girders In Buildings

لابد من تمركز ثقل المقطع العرضي لصفحة الجائز قدر ما أمكن عملياً في الأجنحة وعلى أبعد مسافة من المحور المحايد وذلك للحصول على أكبر مقاومة للانعطاف.

وقد يتطلب هذا، بطبيعة الحال، جسداً نحيفاً بحيث ينهار الجائز العرضي الرئيسي بالتحنيب قبل أن يصل إلى السعة الانعطافية (قدرة استيعاب أكبر عزم انعطاف ممكن).

ولمنع وقوع هذا، تُحدّد مواصفات AISC النسبة h/t .

فمن أجل الجسد اللامقوى، يجب ألا تتجاوز هذه النسبة:

$$\frac{h}{t} = \frac{14,000}{\sqrt{F_y (F_y + 16.5)}}$$

حيث: F = مقاومة الخضوع، جناح الضغط، مقدرة بـ Ksi (MPa).

ومهما يكن من أمر، يمكن استخدام أكبر قيم للنسبة h/t ، في حال كان الجسد مقوى وعلى مجالات أو تباعدات ملائمة.

ولتحقيق هذا الغرض، يمكن أن تقوى الأجنحة الشاقولية بربطها بالجسد أو عن طريق صفائح شاقولية ملحومة بها (بالأجنحة). ورغم ذلك، فإن هذه المقويات العرضية لا تكون مطلوبة عندما تكون النسبة h/t أقل من القيمة المحسوبة من المعادلة السابقة أو من الجدول 9.4.

الجدول 9.4 القيمة الحرجة للنسبة h/t الخاصة بصفائح تقوية الجيزان الرئيسية في الأبنية			
$\frac{2,000}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{14,000}{\sqrt{F_y (F_y + 16.5)}}$	(MPa)	F_y, ksi
333	322	(248)	36
283	243	(345)	50

وإذا ما توضع المقويات العرضية بتباعدات لا تزيد عن 1.5 مرة من عمق (تدلي) الجائز الرئيسي، فإن نسبة

$$\frac{\text{العمق التنظيف (الصافي) للجسد}}{\text{الشحانة (للمصفحة)}}$$

قد تصل إلى أكبر ما يمكن:

$$\frac{h}{t} = \frac{2000}{\sqrt{F_y}}$$

وعلى أي حال، إذا ما تجاوزت نسبة عمق الجائز/ثخانة الصفيحة (h/t) القيمة $760/\sqrt{F_b}$ ، حيث F_b هو إجهاد الانعطاف المقبول في طاولة (جناح) الضغط المطبق عليها بصورة اعتيادية، فإن هذا الإجهاد يجب أن يُخفَّض إلى F'_b وفق المعادلات التالية:

$$F'_b = R_{PG} R_e F_b$$

$$R_{PG} = \left[1 - 0.0005 \frac{A_w}{A_f} \left(\frac{h}{t} - \frac{760}{\sqrt{F_b}} \right) \right] \leq 1.0$$

$$R_e = \left[\frac{12 + (A_w / A_f)(3\alpha - \alpha^3)}{12 + 2(A_w / A_f)} \right] \leq 1.0$$

حيث:

$$A_w = \text{مساحة الجسد، } \text{in}^2 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

$$A_f = \text{مساحة جناح الضغط، } \text{in}^2 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

$$\alpha = 0.6 F_{yw}/F_b \leq 1.0$$

$$F_{yw} = \text{إجهاد الخضوع الأصغري المُمَيَّز لفولاذ الجسد، مقدراً بـ Ksi (MPa)}.$$

في الجائز المختلط (الفولاذي - البيتوني)، وحيث يكون لفولاذ الجناح مقاومة خضوع أكبر من مقاومة خضوع فولاذ الجسد، فإن تطبيق المعادلات السابقة يقي دون وقوع خضوع مفرط أو زائد عن المقاومة المنخفضة للجسد في جوار المقاومة الأعلى للأجنحة. أما بما يخص الجيزان اللامختلطة فيكون: $R_e = 1.0$.

توزيع الحمولة على الهياكل الإطارية المستعرضة* وعلى الجدران القصية

Load Distribution To Bents And Shear Walls

القيام بنقل الحمولات الجانبية هو تدبير احتياطي لازم وضروري في كافة المنشآت، وكمثال على ذلك نأخذ تلك الحمولات الناشئة عن الرياح والزلازل وكذا الحمولات الناشئة عن آليات جر وكبح الحافلات، المؤثرة على أساسات ونقاط استناد المنشآت حيث يكون لهذه الأساسات والمساند مقاومة عالية ضد الإزاحات. هذا الغرض، يمكن أن يتم استخدام أنواع مختلفة من وسائل التقوية المتضمنة الدعائم الموازية والأربطة الشدية والجيزان الشبكية والجدران القصية ومخمدات الاهتزازات.

تشوهات الهياكل الإطارية والجدران القصية

التشوهات الأفقية الواقعة في مستويات الهياكل الإطارية والجدران القصية يمكن أن تُحسب بالاستناد على فرضية أنها تعمل كأظفار. والتشوهات في الهياكل الإطارية المقواة يمكن أن تُحسب بطريقة الحمولة الوهمية الواحدة أو بالطريقة المصفوفية.

أما التشوهات في الإطارات (البورتيكات) الصلبة فيمكن أن تُحسب بجمع انزياحات الطوابق وفق ما هو مُحدد في طريقة توزيع العزوم أو بالطريقة المصفوفية.

التشوه في مستوي الجدار القصي (الشكل 9.3) المحرّض أو الناتج عن تأثير حمولة واقعة في مستوي الجدار أيضاً، إن هو إلا مجموع التشوه المرن للجدار كظفر والتشوه الناتج عن القص. وهكذا، ففي جدار ذي مقطع مستطيل كتيم، يكون التشوه في أعلى الجدار الناتج عن الحمولة المنتظمة مساوياً:

* المقصود بهذا التعبير الهيكل الإنشائي الإطاري الموضوع بشكل عرضي للتصدي للحمولات الجانبية بشكل أساسي وللحمولات الشاقولية أيضاً. (المعدّ).

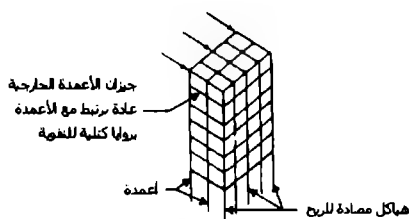
$$\delta = \frac{1.5wH}{Et} \left[\left(\frac{H}{L} \right)^3 + \frac{H}{L} \right]$$

حيث :

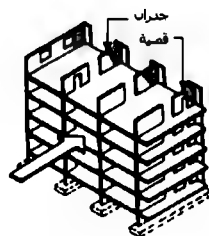
w = الحمولة الموزعة الجانبية. H = ارتفاع الجدار.

E = عامل مرونة مادة الجدار. t = ثخانة الجدار

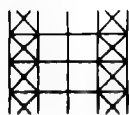
L = طول الجدار



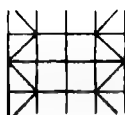
(a)



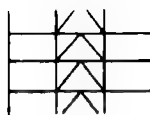
(g)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

الشكل 9.3 إطار مبنى هيكلي يقاوم القوى الجانبية (الأفقية) مع:

(a) هياكل مقاومة للرياح أو (g) جدران قصية أو مركب من الاثنين. ويمكن للهياكل أن تقوى بعدة طرق، تتضمن:

(b) المقوّى على شكل X، (c) المقوّى على شكل K، (d) المقوّى على شكل V مقلوبة، (e) المقوّى المرفقي (يشبه الركبة)، (f) الروابط الصلبة.

ومن أجل جدار قصي بحمولة مركزة P في أعلاه، يكون التشوه في الأعلى:

$$\delta_c = \frac{4P}{Et} \left[\left(\frac{H}{L} \right)^3 + 0.75 \frac{H}{L} \right]$$

وإذا ما كان الجدار مثبتاً ضد الدوران في أعلاه، فيكون التشوه في واقع الحال مساوياً إلى:

$$\delta_f = \frac{P}{Et} \left[\left(\frac{H}{L} \right)^3 + 3 \frac{H}{L} \right]$$

والوحدات المستخدمة في هذه المعادلات هي تلك الواحدات المطبقة على نحو شائع في قياسات نظام الولايات المتحدة المتبع (USCS) وكذا في النظام الدولي (SI)، يعني الواحدات Kip (KN) و lb/in² (MPa) و ft (m) و in (mm).

عندما تحوي الجدران القصية على فتحات، مثل الأبواب أو الممرات أو النوافذ، تصبح حسابات التشوه والصلابة أكثر تعقيداً. ومهما يكن من أمر، فإن طرقاً تقريبية يمكن استخدامها.

الضغط المحوري المركب أو الشد مع الانعطاف

Combined Axial Compression Or Tension And Bending

مواصفات الـ AISC الخاصة بتصميم الإجهاد المقبول للأبنية، تتضمن ثلاث صيغ متبادلة التأثير لحساب الضغط المحوري المركب والانعطاف.

عندما تتجاوز نسبة الإجهاد المحوري المحسوب على الإجهاد المحوري المسموح f_u/F_u ، القيمة 0.15، فلا بد من تحقق كل من المعادلتين التاليتين:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - f_a / F'_{ex}) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1 - f_a / F'_{ey}) F_{by}} \leq 1$$

$$\frac{f_a}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

وعندما يكون $f_a/F_a \leq 0.15$ ، فيمكن استخدام المعادلة التالية عوضاً عن المعادلتين السابقتين:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

يُحدد الدليلان x و y، في المعادلات السابقة، محور الانعطاف الذي يحدث حوله الإجهاد و:

F_a = الإجهاد المحوري الذي سيكون مسموحاً في حال كانت القوة المحورية لوحدها، Ksi (MPa).

F_b = إجهاد ضغط الانعطاف الذي سيسمح في حال كان عزم الانعطاف لوحده، Ksi (MPa).

$F'_e = 149,000 / (Kl_r / r_h)^2$ ، Ksi (MPa). أما بالنسبة لـ F_a ، F_b و $0.6 F_y$ ، F'_e فيمكن زيادتها إلى الثلث (يعني أن يضاف إلى قيمتها ثلث قيمتها أيضاً) من أجل حمولات الرياح وحمولات الزلازل.

l_h = الطول الفعلي اللامقوّى في مستوي الانعطاف، in (mm).

r_h = نصف قطر العطالة (الدوران) حول محور الانعطاف، in (mm).

K = عامل الطول الفعّال في مستوي الانعطاف.

f_a = الإجهاد المحوري المحسوب، Ksi (MPa).

f_b = إجهاد ضغط الانعطاف المحسوب في النقطة المُعتبرة، Ksi (MPa).

C_m = أمثال التعديل.

الأجساد الواقعة تحت تأثير حمولات مركزة

Webs Under Concentrated Loads

معايير خاصة بالأبنية

تُضَعُ مواصفات الـ AISC، الخاصة بحمولة التصميم المقبولة (ASD) للأبنية حدًّا لإجهاد الضغط في الأجساد وذلك لمنع الخضوع المكاني للجسد. ففي الجائز المدلفن تكون مقويات التحميل مطلوبة عند تطبيق الحمولة المركزة في حال كان الإجهاد f_u المقدَّر — Ksi (MPa)، متجاوزاً في مكان اتصال أو ارتكاز الجسد مع زاوية الالتحام القيمة $F_u = 0.66 F_{yw}$ ، حيث F_{yw} هو إجهاد الخضوع المميز الأصغري لفولاذ الجسد مقدراً — Ksi (MPa). وفي عملية حساب المساحة المُجهدة، يمكن أن تُفرض الحمولة موزعة على المسافة الموضحة بالشكل 9.4

بما يخص الحمولة المركزة المطبقة عند مسافة أكبر من عمق الجائز، وذلك بدءاً من طرف الجائز، يكون:

$$f_u = \frac{R}{t_w (N + 5k)}$$

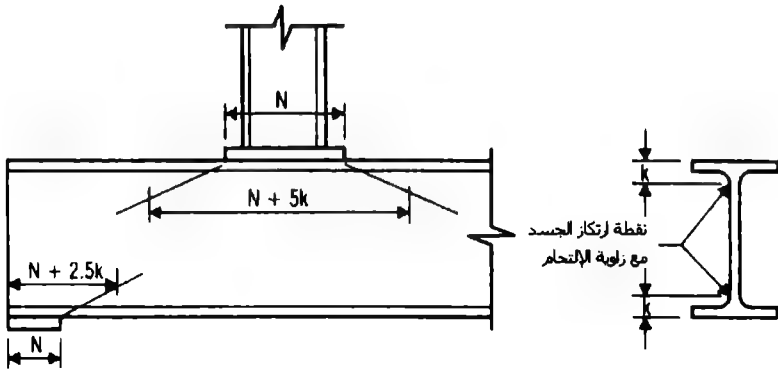
حيث:

R = حمولة رد الفعل المركزة، Kip (kN).

t_w = ثخانة الجسد، in (mm).

N = طول التحميل، in (mm)، (بالنسبة لرد فعل المسند لا يقل عن k).

k = المسافة من السطح أو الوجه الخارجي للجناح إلى نقطة ارتكاز الجسد مع زاوية الالتحام، مقدرة بـ in (mm).



الشكل 9.4 بما يخص عملية التحقق من خضوع الجسد، تُفرض الإجهادات موزعة على أطوال الجسد المحددة بأشكال التحميل، حيث N هو طول صفائح التحميل، و k هي المسافة من الوجه الخارجي للجناح للجناز إلى نقطة ارتكاز الجسد مع زاوية الالتحام.

أما بما يخص الحمولة المركزة المطبقة بشكل قريب من مسند الجناز، فيكون:

$$f_a = \frac{R}{t_w (N + 2.5k)}$$

ولمنع زحف الجسد، توصي مواصفات الـ AISC بأن تكون مقويات التحميل (صفائح التقوية) مضافة على الأجساد مكان وقوع الحمولات المركزة عندما تتجاوز قوة الضغط قيمة R ، المقدرة بـ Kip (kN)، المحسوبة وفق ما يلي:

— من أجل حمولة مركزة مطبقة على مسافة من مسند الجناز تساوي على الأقل $d/2$ ، حيث d عمق الجناز، تكون:

$$R = 67.5 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{F_{yw} t_f / t_w}$$

حيث: t_f = ثخانة الجناح، in (mm)

ومن أجل حمولة مركزة مطبقة على مسافة أقرب من $d/2$ من مسند الجائز، تكون:

$$R = 34 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{F_{yw} t_f / t_w}$$

إذا كانت المقويات مزودة وممتدة على الأقل بنصف طول الجسد، فلا حاجة عندئذٍ لحساب قيمة R .

الاعتبار الآخر هو منع التحنيب الجانبي للجسد. فتوصي مواصفات الـ AISC بمقويات التحميل عندما تتجاوز قوة الضغط الناتجة عن الحمولة المركزة الحدود التي تعتمد على النحافة النسبية للجسد والجناح r_{wf} وعلى إذا ما كان الجناح المحمل معاقاً ضد الدوران أم لا:

$$r_{wf} = \frac{d_c / t_w}{l / b_f}$$

حيث:

l = أكبر طول غير مقوى على امتداد الجناح العلوي أو السفلي في نقطة تطبيق الحمولة، مقدراً بـ in (mm).

b_f = عرض الجناح، in (mm).

d_c = عمق الجسد الصافي المقاس بدءاً من زاويتي الالتحام ويساوي؛

$$d_c = d - 2k$$

وتكون المقويات مطلوبة إذا ما تجاوزت الحمولة المركزة قيمة R المقدرة بـ Kip (kN) والمحسوبة من:

$$R = \frac{6800t_w^3}{h} (1 + 0.4r_{wf}^3)$$

حيث:

h = المسافة الصافية بين الجناحين، in (mm).

r_{wf} تكون أقل من 2.3 عندما يكون الجناح المُحمّل معاقاً ضد الدوران.

أما إذا كان الجناح المحمل غير معاق ضد الدوران وكانت r_{wf} أقل من 1.7 فإن:

$$R = 0.4r_{wf}^3 \frac{6800t_w^3}{h}$$

عندما تكون قيم r_{wf} أكبر من القيم السابقة المذكورة، فلا حاجة عندئذٍ لحساب R.

تصميم صفائح التقوية الواقعة تحت تأثير الحمولات

Design Of Stiffeners Under Loads

توصي مواصفات الـ AISC بتلك المقويات (صفائح التقوية) واللحامات لوصلات أطراف الجيزان والعوارض الرئيسية والجيزان الشبكية المصنّمة للتصدي لتأثير القوى المركب الناتج عن العزم والقص المفتعلين بصلابة الوصلة. فعندما تكون أجنحة أو صفائح الوصل المضادة للعزوم، الخاصة بوصلات أطراف الجيزان والعوارض الرئيسية، ملحومة بجناح عمود على شكل I أو H، فإنه يكون لزوجي صفيحتي تقوية جسد العمود مساحة مقطع عرضي مركب A_{ec} لا تقل عن تلك المساحة المحسوبة من المعادلة اللاحقة والتي يجب أن تضاف إلى مساحة الجسد كلما كانت القيمة المحسوبة لـ A_{ec} موجبة.

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_{yc} t_{wc} (t_b + 5k)}{F_{yst}}$$

حيث:

F_{yc} = إجهاد خضوع العمود، Ksi (MPa).

F_{yst} = إجهاد خضوع صفيحة التقوية، Ksi (MPa).

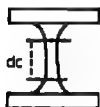
K = المسافة بين الوجه الخارجي لجناح العمود ونقطة ارتكاز الجسد مع زاوية الالتحام، وذلك إذا كان العمود هيكلاً مدلفناً، أو المسافة المكافئة إذا كان العمود هيكلاً ملحوماً، مقدرة بـ in (mm).

P_{nl} = القوة المحسوبة المنقولة بجناح صفيحة وصل التصدي للعزم مضروبة بـ $\frac{5}{3}$ وذلك عندما تكون القوة ناشئة عن حمولة حية وميتة فقط، أو مضروبة بـ $\frac{4}{3}$ عندما تكون القوة المحسوبة ناشئة عن حمولة حية وميتة مع قوى (حمولات) الرياح أو الزلازل، Kip (kN).

t_{wc} = ثخانة جسد العمود، in (mm).

t_b = ثخانة الجناح أو صفيحة وصل التصدي للعزم التي تنقل القوة المركزة، in (mm).

بالرغم من المستلزمات السابقة، إلا أنه لا بد من تزويد صفيحة أو زوج من صفائح التقوية فوق جناح ضغط الجائز عندما يكون عمق جسد العمود الصافي (النظيف) الواقع بين نقطتي اتصال الجسد مع زاويتي الالتحام d_c أكبر من:



$$d_c = \frac{4100 t_{wc}^3 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}}$$

كما لا بد من تزويد زوج من صفائح التقوية فوق جناح الشد عندما تكون ثخانة جناح العمود t_f أقل من:

$$t_f = 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}}$$

إن المقويات (صفائح التقوية) التي تم تزويدها بواسطة المعادلات السابقة لا بد وأن تتوافق مع المعايير الإضافية التالية:

1. يجب ألا يقل عرض كل صفيحة تقوية زائد نصف ثخانة جسد العمود عن ثلث عرض الجناح أو صفيحة وصلة التصدي للعزم الذي أو التي تنقل القوة المركزة.

2. يجب ألا تقل ثخانة صفائح التقوية عن $t_f/2$.

3. يجب على مقويات لحام الربط بجسد العمود أن تكون بقياس يتحمل القوة المؤثرة في صفيحة التقوية التي سببها العزوم اللامتوازنة (غير متساوية) على الوجهين المتقابلين للعمود.

Fasteners In Buildings

عناصر التثبيت في الأبنية

تُميَّز مواصفات الـ AISC الخاصة بالإجهادات المقبولة على الأبنية إجهادات الشد والقصر الواحدية المقبولة المؤثرة على المقطع من الجزء المحلزن واللامحلزن من البراغي.

(عموماً، يجب ألا تُستخدم البراשים المعرضة لشد مباشر).

عندما ينضم تأثير حمولة الريح أو حمولة الزلازل مع الحمولات الثقالية، فيمكن زيادة الإجهادات المسموحة إلى الثلث.

إن معظم الأبنية تُشيد بمساعدة وصلات التحميل. وتُطبق إجهادات التحميل المقبولة على كل من وصلات التحميل ووصلات الانزلاق الحرج. ويكون إجهاد التحميل المقبول في الأبنية F_p على المساحة المُسقطَة (المقطع العرضي المعامد للإجهاد) لعناصر التثبيت، مقدراً بـ Ksi (MPa)، مساوياً إلى:

$$F_p = 1.2 F_u$$

حيث: F_u مقاومة الشد للجزء الموصول، (MPa) Ksi.

ويجب أن تكون المسافة المقاسة في خط تأثير القوة إلى أقرب حافة من الجزء الموصول (المسافة الطرفية) على الأقل 1.5d، حيث d قطر عنصر التقوية. ويجب أن يكون التباعد من المركز إلى المركز بين عناصر التثبيت على الأقل 3d.

Composite Construction

الإنشاءات المختلطة

تُوصّل وتدمج الجيزان الفولاذية مع البلاطة البيتونية في الإنشاء المختلط بحيث تعمل مع بعضها لمقاومة الحمولة المؤثرة على الجائز. وتعمل البلاطة، فعلياً، كصفحة تغطية. وبالنسبة، يمكن استخدام مقطع فولاذي خفيف (فولاذ قليل).

الإنشاء المختلط في المباني

ثمة طريقتان أساسيتان للإنشاء المختلط:

الطريقة 1. فولاذ الجائز مغلف كلياً بالبيتون. يعتمد الإنشاء المختلط في هذه الحالة على الحافة (التعشيق) البيتونية الفولاذية بمفردها. وبما أن الجائز مقوّى تماماً جانبياً، يكون الإجهاد المقبول في الأجنحة $0.66 F_y$ ، حيث F_y مقاومة الخضوع للفولاذ، مقدرة بـ (MPa) Ksi. وبفرض أن الفولاذ يعبأ بتحمل كامل الحمولة الميتة وأن المقطع المختلط يتحمل الحمولة الحية، يكون إجهاد الواحدة الأعظمي في الفولاذ، مقدراً بـ (MPa) Ksi:

$$f_s = \frac{M_D}{S_s} + \frac{M_L}{S_{tr}} \leq 0.66 F_y$$

حيث:

M_D = عزم الحمولة الميتة، (kN.mm) in.Kip

M_L = عزم الحمولة الحية، (kN.mm) in.Kip.

S_x = معامل مقطع فولاذ الجائز، in^3 (mm^3).

S_{tr} = معامل مقطع المقطع المختلط المحوّل (المكافئ)، in^3 (mm^3).

تسمح مواصفات الـ AISC باستخدام طريقة مختصرة. فتفترض هذه الطريقة أن الفولاذ يعبأ بكل من الحملات الحية والميتة، ويُعوّض عن هذا بالسماح بإجهاد أكبر في الفولاذ:

$$f_s = \frac{M_D + M_L}{S_g} \leq 0.76F_y$$

الطريقة 2. الجائز الفولاذي مُرتبط بالبلاطة البيتونية بوصلات قصية.

يعتمد التصميم على الحمولة الحدية وهو مستقل عن استخدام الدواعم المؤقتة لسند الفولاذ حتى تصلب البيتون. ويكون الإجهاد الأعظمي في الجناح السفلي مساوياً لـ:

$$f_s = \frac{M_D + M_L}{S_{tr}} \leq 0.66F_y$$

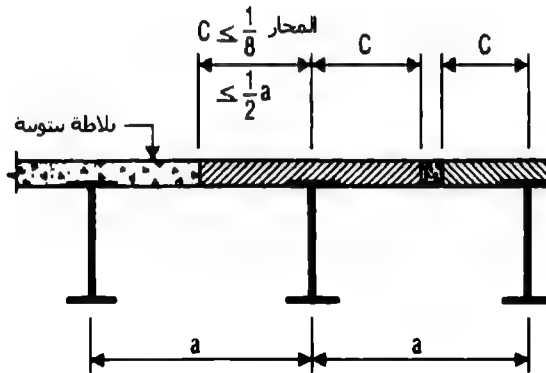
وللحصول على المقطع المختلط المحوّل، يُعامل البيتون الواقع فوق المحور المحايد كمساحة فولاذية مكافئة وذلك بتقسيم مساحة البيتون على n ، وهي نسبة معامل مرونة الفولاذ إلى معامل مرونة البيتون. وفي عملية حساب أو تعيين المقطع المحوّل (المكافئ)، يمكن أن يُعتبر جزء من البلاطة البيتونية، الواقع فوق الجائز، فعالاً في مقاومة إجهادات الضغط المرونية (مناطق العزم الموجب).

عرض البلاطة، على أحد جانبي خط مركز الجائز (الخط المحوري الطولي للجائز)، الممكن اعتباره فعالاً، يجب ألا يتجاوز أي واحدة من القيم التالية:

1. ثُمن مجاز الجائز المأخوذ بين مركزي الاستناد.

2. نصف المسافة إلى خط مركز الجائز المجاور.

3. المسافة من خط مركز الجائز إلى حافة البلاطة. (الشكل 9.5).



الشكل 9.5 تحديدات للأبعاد خاصة بالعرض الفعال للبلاطة البيتونية في جائز مختلط فولاذي بيتوني.

عدد روابط الوصل المطلوبة في إنشاء المباني

Number Of Connectors Required For Building Construction

يُحسب العدد الإجمالي للروابط، لمقاومة V_u ، من V_u/q . حيث q القص المقبول لرابط واحد، مقدراً بـ Kip (kN). وتعطى قيم q للروابط في الأبنية ضمن توجيهات التصميم الإنشائية.

يمكن أن يُباعد العدد المطلوب من روابط القص على نحو منتظم فيما بين مقاطع العزم الأعظمي والعزم الصفري. ويجب أن يكون لروابط القص غطاء بيتوني مقداره 1 in (25.4 mm) على الأقل. وما لم تكن الدُسر واقعة فوق الجسد مباشرة، فإنه يجب ألا تتجاوز أقطار الدُسر 2.5 مرة من ثخانة جناح الجائز.

ومع وجود حمولات مركزة ثقيلة فقد لا يكون التباعد المنتظم لروابط القص كافياً

فيما بين الحمولة المركزة وأقرب نقطة من العزم الصفري. لذا يجب أن يكون عدد روابط القص في هذه المنطقة مساوياً على الأقل إلى:

$$N_2 = \frac{N_1 [M\beta / M_{max} - 1]}{\beta - 1}$$

حيث:

M = العزم في نقطة تطبيق الحمولة المركزة، (kN.m) ft. Kip.

M_{max} = العزم الأعظمي في المجاز، (kN.m) ft. Kip.

N_1 = عدد روابط القص المطلوبة بين M_{max} والعزم الصفري.

$\beta = S_{tr}/S_s$ or S_{cn}/S_s ، حسبما هو ملائم.

S_{cn} = معامل المقطع الفعال من أجل مقطع مختلط يعمل جزئياً، in^3 (mm³).

القص الفاعل على الروابط

إن القص الإجمالي الأفقي المقاوم بالروابط القصية في منشأة المبنى يؤخذ كقيمة صفري ناتجة عن إحدى المعادلتين التاليتين:

$$V_h = \frac{0.85 f'_c A_c}{2}$$

$$V_h = \frac{A_s F_y}{2}$$

حيث:

V_h = القص الإجمالي الأفقي الواقع بين العزم الموجب الأعظمي وأحد نقطتي استناد الجائز الفولاذي (أو بين العزم الموجب الأعظمي ونقطة تغير اتجاه الانعطاف في الجائز المستمر)، مقدراً بـ (kN) Kip.

f'_c = مقاومة الضغط المميزة للبيتون في اليوم الثامن والعشرين، (MPa) Ksi.

A_c = المساحة الفعلية لجناح البيتون الفعال، in^2 (mm^2).

A_s = مساحة الجائز الفولاذي، in^2 (mm^2).

يمكن أن يُؤخذ فولاذ التسليح الطولاني في الإنشاء المختلط المستمر (جيزان مستمرة) فاعلاً بتعاضده واختلاطه مع الجائز الفولاذي في مناطق العزوم السالبة. وفي هذه الحالة يجب أن يؤخذ القص الإجمالي الأفقي، الواقع بين مسند داخلي وإحدى نقطتي تغير اتجاه مخطط الانعطاف المجاورة، وفق العلاقة:

$$V_h = \frac{A_{sr} F_{yt}}{2}$$

حيث:

A_s = مساحة التسليح الطولاني عند المسند داخل المساحة الفعالة، in^2 (mm^2).

F_{yt} = إجهاد الخضوع المُمَيَّز الأصغري للتسليح الطولاني، (MPa) Ksi.

اعتبارات خاصة بتشكيل البرك المائية في المباني

Ponding Considerations In Buildings

السقوف المنبسطة المحتمل أن تتراكم المياه عليها قد تتطلب تحليلاً لضمانة أنها مستقرة ومتوازنة تحت شروط تشكّل برك الماء. إلا أن هذه السقوف المنبسطة يمكن أن تُعتبر متوازنة وأنها ليست بحاجة لأي تحليل إنشائي إذا ما تحققت المعادلتان التاليتان:

$$C_p + 0.9 C_s \leq 0.25$$

$$I_d \geq 25 S^4 / 10^6$$

حيث :

$$C_p = 32 L_x L_y^4 / 10^7 I_p$$

$$C_s = 32 S L_y^4 / 10^7 I_s$$

L_p = طول العنصر الأولي أو العارضة الرئيسية، ft (m).

L_s = طول العنصر الثانوي أو الرافدة الثانوية (الأفقية)، ft (m).

S = تباعد العناصر الثانوية، ft (m).

I_p = عزم عطالة العنصر الأولي، in^4 (mm^4).

I_s = عزم عطالة العنصر الثانوي، in^4 (mm^4).

I_d = عزم عطالة مقطع الدعم السطحي الفولاذي المستند على العناصر الثانوية،
مقدراً بـ in^4/ft (mm^4/m).

ويجب أن يتم إنقاص I_s في الجيزان الشبكية والعناصر الأخرى ذات الجسد المكشوف إلى % 15. ويجب ألا يتجاوز إجهاد الانعطاف الإجمالي، الناشئ عن الحمولات الميتة والحمولات الثقالية الحية وحمولات تجمع المياه، القيمة $0.80 F_y$. حيث F_y هو إجهاد الخضوع المميز الأصغري للفولاذ.

10

صيغ الجسور وأكبال التعليق

**Bridge and
Suspension- Cable Formulas**

تصميم مقاومة القص للجسور

Shear Strength Design For Bridges

اعتماداً على مواصفات جمعية الزمالة الأمريكية لمكاتب الطرق والنقل الرسمية (AASHTO) الخاصة بعامل الحمولة التصميمية (LFD) يمكن أن تُحسب السعة القصية مقدرة بـ Kip (kN) من العلاقة:

$$V_u = 0.58 F_y h t_w C$$

قيمة C، في العناصر المرنة بأجساد غير مقواة مع شرط $h/t_w < 150$ أو في الجيزان الرئيسية بأجساد مقواة مع a/h تتجاوز 3 أو $67,000 (h/t_w)^2$ ، تُعطى بـ:

$$C = 1.0 \text{ عندما } \frac{h}{t_w} < \beta$$

$$C = \frac{\beta}{h/t_w} \text{ عندما } \beta \leq \frac{h}{t_w} \leq 1.25\beta$$

$$C = \frac{45,000k}{F_y (h/t_w)^2} \text{ عندما } \frac{h}{t_w} > 1.25\beta$$

أمّا في حالة الجيزان (العوارض) الرئيسية، بمقويات مستعرضة ونسبة a/h أقل من 3 وأقل من $67,600 (h/t_w)^2$ ، فإن السعة القصية تُعطى بـ:

$$V_u = 0.58 F_y d t_w \left[C + \frac{1 - C}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right]$$

وتكون المقويات مطلوبة عندما يتجاوز القص قيمة V_u .

ولا تبقى إلا العودة إلى الفصل التاسع "صيغ تصميم عناصر الأبنية والمنشآت العامة" من أجل التعرف على الرموز المستخدمة في المعادلات السابقة.

تصميم الإجهاد المقبول في أعمدة الجسور

Allowable-Stress Design For Bridge Columns

تُحسب الإجهادات المسموحة في الأعمدة المحملة مركزياً من المعادلات اللاحقة، وذلك من خلال مواصفات أشتو (AASHTO) لتصميم الجسور:

عندما تكون Kl/r أقل من C_c :

$$F_a = \frac{F_y}{2.12} \left[1 - \frac{(kl/r)^2}{2C_c^2} \right]$$

عندما تكون Kl/r مساوية إلى أو أكبر من C_c :

$$F_a = \frac{\pi^2 E}{2.12(Kl/r)^2} = \frac{135,000}{(Kl/r)^2}$$

انظر الجدول 10.1

الجدول 10.1 صيغ الأعمدة الخاصة بتصميم الجسور

مقاومة الخضوع	ksi (MPa) . الإجهاد المقبول		
	C_c	$Kl/r < C_c$	$Kl/r \geq C_c$
36	(248)	126.1	$16.98 - 0.00053 (Kl/r)^2$
50	(345)	107.0	$23.58 - 0.00103 (Kl/r)^2$
90	(620)	79.8	$42.45 - 0.00333 (Kl/r)^2$
100	(689)	75.7	$47.17 - 0.00412 (Kl/r)^2$

135,000

$(Kl/r)^2$

عامل تصميم الحمولة والمقاومة العائد لأعمدة الجسور

Load-And-Resistance Factor Design For Bridge Columns

يجب أن يكون للعناصر المضغوطة المُصمَّمة عن طريق عامل تصميم الحمولة (LFD) مقاومةً عظمى، Kip (kN)، تُعطى وفق:

$$P_u = 0.85 A_s F_{cr}$$

حيث:

A_s = المساحة الخامية الفعالة لمقطع العمود العرضي، in^2 (mm^2).

ومن أجل $KL_c / r \leq \sqrt{2\pi^2 E / F_y}$:

$$F_{cr} = F_y \left[1 - \frac{F_y}{4\pi^2 E} \left(\frac{KL_c}{r} \right)^2 \right]$$

ومن أجل $KL_c / r > \sqrt{2\pi^2 E / F_y}$:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL_c / r)^2} = \frac{286,220}{(KL_c / r)^2}$$

حيث؛

F_{cr} = إجهاد التحنيب، Ksi (MPa).

F_y = مقاومة خضوع الفولاذ، Ksi (MPa).

k = عامل الطول الفعال في مستوي التحنيب.

L_c = طول العنصر بين المساند، in (mm).

r = نصف قطر الدوران في مستوي التحنيب، in (mm).

E = معامل مرونة الفولاذ، Ksi (MPa).

يمكن تبسيط المعادلات السابقة بإدخال العامل Q :

$$Q = \left(\frac{KL_c}{r} \right)^2 \frac{F_y}{2\pi^2 E}$$

وبالتالي، يمكن إعادة كتابة المعادلات السابقة وفق ما سيبيّن لاحقاً:

من أجل $Q \leq 1.0$:

$$F_{cr} = \left(1 - \frac{Q}{2} \right) F_y$$

ومن أجل $Q > 1.0$:

$$F_{cr} = \frac{F_y}{2Q}$$

تصميم الإجهاد المقبول الخاص بجيزان الجسور

Allowable-Stress Design For Bridge Beams

تعطي أشتو (AASHTO) إجهاد (شد) الواحدة المقبول على الانعطاف بالعلاقة $F_b = 0.55 F_y$. ونفس قيمة هذا الإجهاد تُسمح على الضغط عندما يكون جناح الضغط مسنوداً جانبياً على امتداد طوله كاملاً بغلاف من البيتون أو بوسيلة أخرى.

وفي حال كان جناح الضغط مستنداً جزئياً أو لا مستنداً خلال امتداده في الجسر، فإن إجهاد الانعطاف المقبول (الجدول 10.2)، مقدراً بـ Ksi (MPa)، هو:

$$F_b = \left(\frac{5 \times 10^7 C_b}{S_{xc}} \right) \left(\frac{L_{yc}}{L} \right) \times \sqrt{\frac{0.772J}{I_{yc}} + 9.87 \left(\frac{d}{L} \right)^2} \leq 0.55F_y$$

حيث:

L = طول الجناح اللامسنود بين روابط الاستناد الجانبية المتضمنة مقويات مرفقية (زاوية)، in (mm).

S_{xc} = معامل المقطع المتعلق بجناح الضغط، in^3 (mm³).

I_{yc} = عزم عطالة جناح الضغط حول المحور الشاقولي في مستوي الجسد، in^4 (mm⁴).

$$J = 1/3 (b_c t_c^3 + b_t t_t^3 + D t_w^3)$$

b_c = عرض جناح الضغط، in (mm).

b_t = عرض جناح الشد، in (mm).

t_c = ثخانة جناح الضغط، in (mm).

t_t = ثخانة جناح الشد، in (mm).

t_w = ثخانة الجسد، in (mm).

D = عمق (تدلي) الجسد، in (mm).

d = عمق (تدلي) العنصر المروني، in (mm).

الجدول 10.2 إجهاد الانعطاف المقبول في جيزان الجسور المقواة.

F_b	F_y
20 (138)	36 (248)
27 (186)	50 (345)

يمكن حساب عامل تدرج العزم C_b عموماً من المعادلة اللاحقة. ويجب أن يؤخذ، على أي حال، مساوياً للوحدة في الأظفار غير المقواة والعناصر التي يكون فيها العزم ضمن جزء لا بأس به من طول هذه العناصر مساوياً إلى أو أكبر من أعظم عزمي طرفي العنصر أو القطعة. بقيت الإشارة إلى أنه في حال استخدام صفائح التغطية فلا بد أن يُحسب الإجهاد الستاتيكي المقبول في نقطة الطرف أو التوقف من المعادلة السابقة.

يمكن أن يُحسب عامل تدرج العزم من:

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

حيث:

M_1 = أصغر عزمي نهائيّ الجائز.

M_2 = أكبر عزمي نهائيّ الجائز.

وتكون الإشارة الجبرية لـ M_1/M_2 موجبة في الانعطاف الثنائي الانحناء وسالبة في الانعطاف الأحادي الانحناء.

المقويات في الجيزان العرضية للجسور

Stiffeners On Bridge Girders

عزم العطالة الأصغري للمقوي المستعرض (بالإنحاء العرضي) يجب أن يكون على الأقل، مقدراً بـ in^4 (mm^4)، مساوياً إلى :

$$I = a_o t^3 J$$

حيث:

$$J = 2.5h^2 / a_o^2 - 2 \geq 0.5$$

h = المسافة الصافية (النظيفة) بين الجناحين، in (mm).

a_o = التباعد الفعلي بين المقويات، in (mm).

t = ثخانة الجسد، in (mm).

ويجب أن يؤخذ عزم العطالة حول خط مركز الجسد في المقويات المزدوجة. أما في المقويات المفردة فيجب أن يؤخذ عزم العطالة حول سطح التماس مع الجسد. مساحة المقطع العرضي الخامي للمقويات المتوسطة (المتوسطة في الوسط) يجب أن تكون على الأقل:

$$A = \left[0.15BDt_w (1-C) \frac{V}{V_u} - 18t_w^2 \right] Y$$

حيث:

Y نسبة مقاومة خضوع صفيحة الجسد إلى مقاومة خضوع صفيحة التقوية.

$B = 1.0$ للمقويات المزدوجة و $B = 1.8$ لزوايا التقوية المفردة و $B = 2.4$ لصفائح التقوية المفردة.

C معرفة في المقطع السابق "إجهاد التصميم المقبول في أعمدة الجسور".

V_u يجب أن تُحسب من معادلات المقطع السابق "تصميم مقاومة القص في الجسور".

عرض المقوي المستعرض المتوسط، مثل الصفيحة أو القائمة الأساسية من زاوية مقوية، يجب أن يكون على الأقل 2 إنش (50.8 mm) زائد $\frac{1}{30}$ من عمق (تدلي) الجائز العرضي، ويُفضل ألا يقل عن 1/4 عرض الجناح. والثخانة الأصغرية لهذا المقوي المستعرض هي $\frac{1}{16}$ من عرضه.

المقويات الطولانية

يجب أن توضع هذه المقويات مع مثبتات مركز ثقلها يتتعد بمقدار $h/5$ من قدم الاستناد أو من الوجه الداخلي لجناح الضغط. ويجب أن يكون عزم العطالة، مقدراً بـ $\text{in}^4 (\text{mm}^4)$ ، على الأقل:

$$I = ht^3 \left(2.4 \frac{a_o^2}{h^2} - 0.13 \right)$$

حيث:

a_o = المسافة الفعلية بين المقويات المستعرضة، $\text{in} (\text{mm})$.

t = ثخانة الجسد، $\text{in} (\text{mm})$.

يجب أن تكون ثخانة المقوي على الأقل، مقدرة بـ $\text{in} (\text{mm})$ ، مساوية إلى:

$$b \sqrt{f_b} / 71.2$$

حيث: b عرض المقوي، $\text{in} (\text{mm})$. و f_b إجهاد ضغط انعطاف الجناح، $\text{Ksi} (\text{MPa})$. ويجب ألا يتجاوز إجهاد الانعطاف في المقوي ذلك الإجهاد المسموح لمادة المقوي.

الجيزان العرضية المختلطة في الجسور Hybrid Bridge Girders

يمكن أن يكون لهذه الجيزان أجنحة ذات مقاومة خضوع أكبر من مقاومة خضوع الجسد، وقد تكون هذه الجيزان مدموجة أو غير مدموجة مع البلاطة البيتونية، أو يمكن لهذه الجيزان أن تُستخدم صفيحة أرضية أورثوتروبية تعمل كجناح علوي.

حساب إجهادات الانعطاف والإجهادات المقبولة لا يختلف عموماً عن حسابها في الجيزان العرضية بمقاومة خضوع منتظمة. وعلى أي حال، قد يتجاوز إجهاد

الانعطاف في الجسد إجهاد الانعطاف المقبول إذا كان إجهاد الانعطاف المحسوب للجنح لم يتجاوز الإجهاد المقبول مضروباً بالقيمة:

$$R = 1 - \frac{\beta\psi(1-\alpha)^2(3-\psi+\psi\alpha)}{6+\beta\psi(3-\psi)}$$

حيث:

α = نسبة مقاومة خضوع الجسد على مقاومة خضوع الجناح.

ψ = المسافة من الحافة الخارجية للجناح المشدود أو من الجناح السفلي للعارضة الأرضية الأورثوتروبية إلى المحور المحايد مقسومة على عمق المقطع الفولاذي.

β = نسبة مساحة الجسد على مساحة جناح الشد أو الجناح السفلي لعارضة الجسر الأورثوتروبية.

عامل تصميم الحمولة في جيزان الجسور

Load-Factor Design For Bridge Beams

ثمة ثلاثة أنواع عامة من العناصر تؤخذ بالاعتبار بما يخص عامل تصميم الحمولة (LFD) في الجيزان المتناظرة المقطع، وهي: العناصر ذات المقاطع المرصوفة والمقاطع المقواة غير المرصوفة والمقاطع غير المقواة. وتعتمد المقاومة العظمى لكل نوع (العزم، in. Kip) على أبعاد العنصر والطول غير المقوى وكذا على القص المطبق والحمولة المحورية (الجدول 10.3).

تُطبق المقاومات العظمى المعطاة بالصيغ الواردة في الجدول 10.3 فقط عندما لا يتجاوز الإجهاد المحوري الأعظم القيمة $0.15 F_y A$ ، حيث A مساحة مقطع العنصر. أما الرموز المستخدمة في الجدول 10.3 فهي معرفة وفق التالي:

F_y = مقاومة خضوع الفولاذ، Ksi (MPa).

Z = معامل المقطع اللدن، $\text{in}^3 (\text{mm}^3)$.

S = معامل المقطع، $\text{in}^3 (\text{mm}^3)$.

b' = عرض بروز الجناح، $\text{in} (\text{mm})$.

d = عمق المقطع، $\text{in} (\text{mm})$.

h = المسافة اللامسنودة بين الأجنحة، $\text{in} (\text{mm})$.

M_I = العزم الأصغر في أطراف الطول اللامقوى للعنصر، $\text{in.Kip} (\text{mm.kN})$.

$$M_u = F_y Z$$

M_I/M_u موجبة في حالة الانعطاف الأحادي الانحناء.

التحميل على السطوح المدلفنة (اللاموثوقة)

Bearing On Milled Surfaces

تُحدَّد أشتو (AASHTO)، في تصميم الطرق العامة (highway)، إجهاد التحميل المقبول على قطع التقوية المدلفنة والأجزاء الفولاذية الأخرى الموجودة في حالة تماس مع الحمولات، بـ $F_p = 0.80 F_u$. أمّا إجهادات التحميل المقبولة على الدُسر فهي معطاة في الجدول 10.4.

إجهاد التحميل المقبول الخاص بتمدد الدلافين وصفائح الاستناد الاهتزازية المستخدمة في الجسور يعتمد على نقطة الخضوع في حالة الشد F_y لفولاذ الدلفين أو فولاذ القاعدة، أيهما أصغر. ويكون الإجهاد المقبول في الأقطار التي تصل إلى 25 إنش (635 mm)، مقدراً بـ $\text{Kip/linear in} (\text{kN/mm})$ ، مساوياً إلى:

$$p = \frac{F_y - 13}{20} 0.6d$$

الجدول 10.3 معايير التصميم للمقاطع المرونية المتناظرة العائدة لعامل تصميم الحمولة في الجسور

نوع المقطع	مقاومة الانعطاف العظمى، M_u	سماكة الحاجب الصغير، t_v	سماكة الجسد الصغير، t_w	الطول الأعظمي غير المقوى، l_u
	in.kip (mm.kN)	in (mm)	in (mm)	in (mm)
مروص	$F_y Z$	$b' \sqrt{F_y}$	$d \sqrt{F_y}$	$[3600 - 2200(M_u / M_u)] t_f$
		65.0	608	F_y
مقوى وغير مروص	$F_y S$	$b' \sqrt{F_y}$	$\frac{h}{150}$	$\frac{20,000 A_f}{F_y d}$
		69.6	150	
غير مقوى				انظر مواصفات أشتو - AASHTO

يمكن استخدام التوسط (الاستيفاء) الداخلي الخطي بين عزني المقطع المروص والمقطع المقوى للامرصوص لوضع المعايير الوسطى بينهما، ويستثنى من ذلك الحالة $t_w \leq d \sqrt{F_y} / 608$ حيث يجب أن يتم الحفاظ على السماكة t_w ، كما يضاف إلى ذلك التالي: عندما تتجاوز b'/t_v و d/t_w ، في المقاطع المروصة، 75% من الحدود المحددة لهذه النسب، عند تطبيق معادلة تبادل العمل التالية:

$$\frac{d}{t_w} + 9.35 \frac{b'}{t_f} \leq \frac{1064}{\sqrt{F_y}}$$

حيث: F_y : مقاومة الخضوع للحاجب، Ksi (MPa).

t_w : سماكة الجسد، in (mm).

t_f : سماكة الحاجب، in (mm).

الجدول 10.4 إجهادات التحميل المقبولة على الدُسر*

جسور			
دُسُر لا تخضع لدوران	دُسُر تخضع لدوران	مباين	
$F_p = 0.80 F_y$	$F_p = 0.40 F_y$	$F_p = 0.90 F_y$	F_y
29 (199)	14 (96)	33 (227)	36 (248)
40 (225)	20 (137)	45 (310)	50 (344)

* الواحدة بـ Ksi (MPa)

أما من أجل الأقطار التي تبدأ من 25 إلى 125 إنش (635 إلى 3175 ميليمتر)، فيكون الإجهاد المقبول:

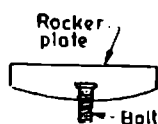
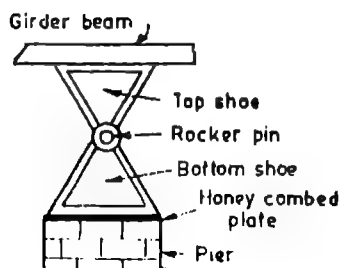
$$p = \frac{F_y - 13}{20} 3\sqrt{d}$$

حيث:

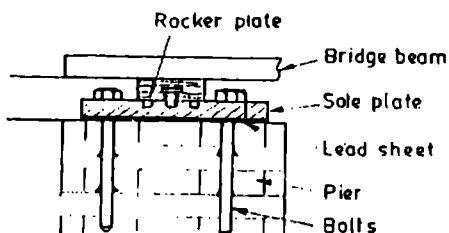
d = قطر الدلفين أو صفيحة الاستناد الاهتزازية، in (mm).

نماذج من سطوح تحميل الجسور

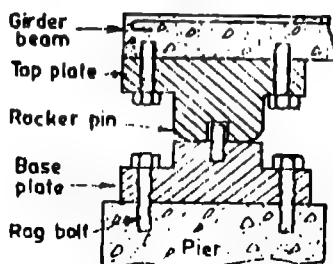
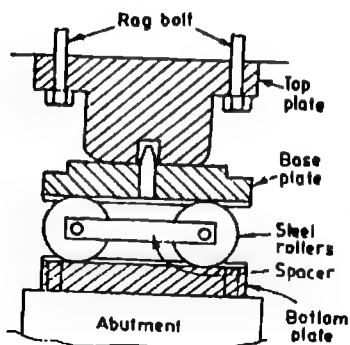
بعض أشكال الاستناد



(a) Side view of rocker plate.

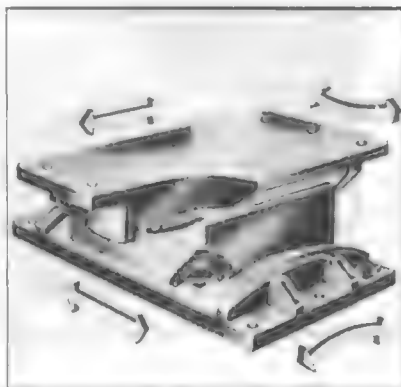


(b) Plate bearing.

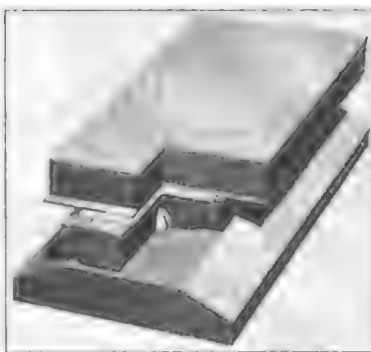




صفحة تحميل كروية (حرة الإنزلاق)



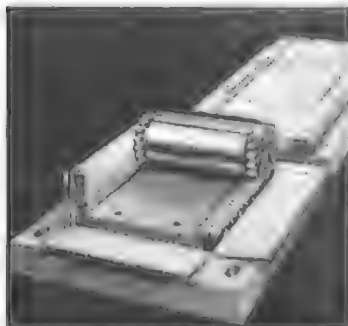
صفحة تحميل ممانعة



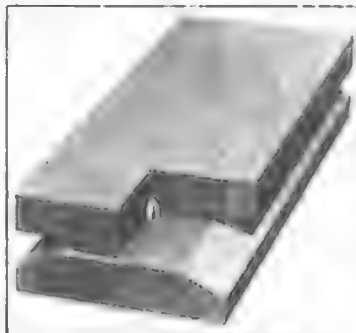
صفحة تحميل ذراعية (حرة الإنزلاق)



صفحة تحميل كروية (موجهة)

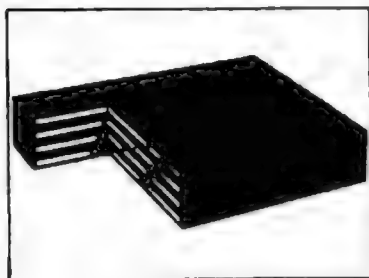


دلعبي بحميل اسطواناي دو فدره بحميل عاليه



صفيحه بحميل دراعيه (باسه)

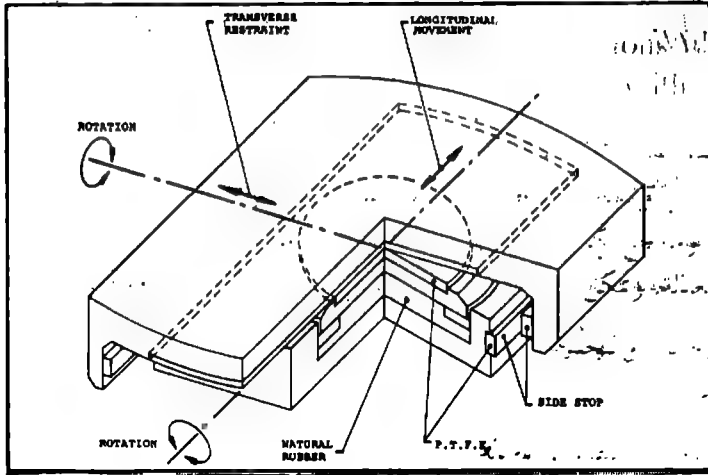
شكل نموذج لصفيحة تحميل



صفيحه التحميل



اسطوانه التحميل العائمه



سطح تحميل اسطواني عائم (موجه)

Bridge Fasteners

مُثَبِّتَات الجسر

تُحدَّد أشتو (AASHTO) بدقة إجهادات تشغيل البراغي في الجسور. وتكون وصلات التحميل النموذجية ذات البراغي العالية المقاومة مقتصرة على العناصر في حالة الضغط والعناصر الثانوية. وإجهاد التحميل المقبول:

$$F_p = 1.35 F_u$$

حيث:

F_p = إجهاد التحميل المقبول، Ksi (MPa).

F_u = مقاومة الشد للجزء الموصول، Ksi (MPa) (أو وفق ما هو مُحدد بالتحميل المقبول على المثبتات).

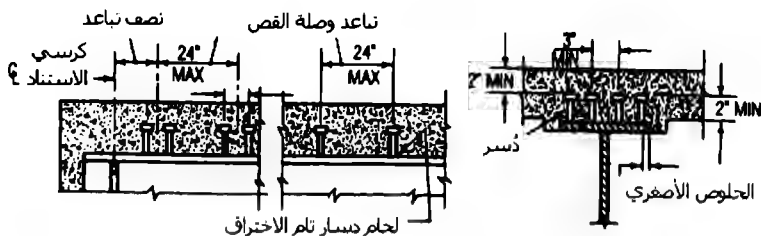
فإجهاد التحميل المقبول على البراغي A 307 هو 20 Ksi (137.8 MPa) وعلى براشيم الفولاذ الإنشائي، 40 Ksi (275.6 MPa).

الإنشاء المختلط في جسور الطرق العامة

Composite Construction In Highway Bridges

يجب أن تكون الوصلات القصية بين جيزان الفولاذ الرئيسية والبلاطة البيتونية في الإنشاء المختلط في جسر الطريق العام (highway bridge) قادرة على مقاومة كلا الحركتين الأفقية والשאقولية بين البيتون والفولاذ. ويكون التباعد الأعظمي للوصلات القصية عموماً 24 إنش (609.6 mm)، إلا أنه يمكن استخدام تباعد أعرض فوق المساند الداخلية لتجنب إجهاد أجزاء جناح الشد على نحو مفرط (الشكل 10.1).

ويجب أن يكون عمق الغطاء البيتوني النظيف فوق الوصلات القصية على الأقل 2 إنش (50.8 mm) كما ويجب أن يمتد على الأقل بـ 2 إنش (50.8 mm) فوق قاع البلاطة.



الشكل 10.1 الخطوة العظمى لتباعد دُسر الوصلات القصية في الجيزان المختلطة:

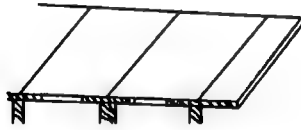
1 in (25.4 mm), 2 in (50.8 mm), 3 in (76.2 mm), 24 in (609.6 mm)

نسبة المجاز/العمق

غالباً ما يُحدّد في الجيزان المختلطة الخاصة بالجسور، عدم تجاوز نسبة المجاز إلى عمق الجائز الفولاذي، المقدار 30. وكذا عدم تجاوز نسبة المجاز إلى عمق الجائز الفولاذي زائد ثخانة البلاطة، المقدار 25.

العرض الفعال للبلاطات

العرض الفعال المفترض أو المعطى للجناح البيتوني، في الجائز الرئيسي المختلط الداخلي، يجب ألا يتجاوز أيًا من القيم التالية:



1. ربع مجاز الجائز الممتد بين مركزي الاستناد.

2. المسافة بين خطي مركزي جائزين رئيسيين متجاورين.

3. اثنتا عشرة مرة الشخانة الأصغرية للبلاطة.

بما يخص الجائز المرفق ببلاطة على طرف واحد فقط منه، في هذه الحالة يجب ألا يتجاوز العرض الفعال للبلاطة هذه أيًا من القيم التالية:

1. $\frac{1}{12}$ من مجاز الجائز الممتد بين مركزي الاستناد.

2. نصف المسافة المقاسة من خط مركز الجائز الرئيسي المجاور.

3. ست مرات الشخانة الأصغرية للبلاطة.

إجهادات الانعطاف

تعتمد الإجهادات، في الجيزان المختلطة العائدة للجسور، على إذا ما كانت العناصر مدعّمة أم لا؛ فهذه الإجهادات تمّ تعيينها بالنسبة للجيزان في الأبنية (انظر "الإنشاء المختلط" في الفصل التاسع "صيغ تصميم عناصر الأبنية والمنشآت")، ماعدا تلك الإجهادات في الفولاذ التي قد لا تتجاوز $0.55 F_y$. (انظر المعادلات اللاحقة.)

فيما يخص العناصر اللامدعّمة:

$$f_s = \frac{M_D}{S_s} + \frac{M_L}{S_{tr}} \leq 0.55 F_y$$

حيث:

F_y = مقاومة الخضوع، ksi (MPa).

وبما يخص العناصر المدعمة:

$$f_s = \frac{M_D + M_L}{S_{lr}} \leq 0.55F_y$$

حيث:

f_s = الإجهاد في الفولاذ، Ksi (MPa).

M_D = عزم الحمولة الميتة، in.Kip (kN.mm).

M_L = عزم الحمولة الحية، in.Kip (kN.mm).

S_x = معامل مقطع الجائز الفولاذي، in^3 (mm^3).

S_{lr} = معامل مقطع المقطع المختلط المحوّل (المكافئ)، in^3 (mm^3).

مجال تراوح القص

تُصمَّم الوصلات القصية في الجسور لتحمل الكلال (تأثير الحمولات المتكررة) ومن ثم تُختَبَر على المقاومة الحدية. فيُحَسَّب مجال القص الأفقي العائد للكلال أو التعب، من:

$$S_r = \frac{V_r Q}{I}$$

حيث:

S_r = مجال القص الأفقي عند منطقة اتصال البلاطة والجائز في النقطة المُعتبرة، Kip/linear in (kN/linear mm).

V_r = مجال تراوح القص (الفرق بين القص الأعظمي والأصغري في النقطة المعتبرة) الناشئ عن الحمولة والرص، Kip (kN).

Q = العزم الستاتيكي للمساحة البيتونية المحوَّلة المضغوطة حول المحور المحايد للمقطع المحوَّل، $\text{in}^3 (\text{mm}^3)$.

I = عزم عطالة المقطع المحوَّل، $\text{in}^4 (\text{mm}^4)$.

المساحة المحوَّلة هي المساحة البيتونية الفعلية مقسومة على n (الجدول 10.5).

ويعطى المجال المسموح للقص الأفقي Z_r العائد لوصلة مستقلة، مقدراً بـ (kN) Kip، بالمعادلتين اللاحقتين المعتمدتين على الوصلة المستخدمة.

الجدول 10.5 نسبة عاملي المرونة للفلواذ والبيتون الخاصة بالجسور

$n = \frac{E_s}{E_c}$	f'_c من أجل البيتون
11	2.0 - 2.3
10	2.4 - 2.8
9	2.9 - 3.5
8	3.6 - 4.5
7	4.6 - 5.9
6	(وما فوقها) 6.0

فمن أجل وصلات الجيزان التي على شكل قناة، بشريطي لحام مقطعاها مثلثان مليتان 3/16 إنش (4.76 mm) على امتداد الجهة الأمامية والخلفية لمرتکز القناة، يكون Z_r :

$$Z_r = Bw$$

حيث:

w = طول القناة في الاتجاه المستعرض على جناح الجائز الرئيسي، in (mm).
 B = متحوّل دوري = 4.0 من أجل 100,000 دورة و 3.0 من أجل 500,000 دورة
 و 2.4 من أجل 2 مليون دورة و 2.1 من أجل عدد دورات تفوق 2 مليون.
 أما بما يخص وصلات الدُسر الغليظة الملحومة (ذات نسبة علو على قطر؛ $H/d \geq 4$)،
 فيكون Z_r :

$$Z_r = \alpha d^2$$

حيث:

d = قطر الدسار، in (mm).
 α = متحوّل دوري = 13.0 من أجل 100,000 دورة و 10.6 من أجل 500,000
 دورة و 7.85 من أجل 2 مليون دورة و 5.5 من أجل عدد دورات تفوق 2 مليون.
 يتم تعيين خطوة التباعد لوصلات القص عن طريق تقسيم المجال المقبول للقص
 الأفقي لجميع الوصلات (الروابط) في أحد المقاطع Z_r على المجال الأفقي للقص S_r
 المقدّر بـ Kip/linear in أو kN/linear mm.

عدد الروابط* في الجسور

Number Of Connectors In Bridges

نُختار المقاومة الحدية للروابط القصية بحساب عدد الروابط المطلوبة، من:

$$N = \frac{P}{\phi S_u}$$

* نكرر أن المقصود بالروابط هو الدُسر، البراغي، البراشيم، ... الخ

حيث:

N = عدد الروابط القصية بين العزم الموجب الأعظمي والمساند الطرفية.

S_u = المقاومة الحدية للروابط القصي، Kip (kN).

[انظر المعادلات (10.1) و(10.2) التي ستأتي وبيانات أشتو — AASHTO]

ϕ = عامل تخفيض = 0.85

P = القوة المؤثرة في البلاطة، Kip (kN).

تكون P في نقاط العزوم الموجبة الأعظمية أصغر من P_1 و P_2 المحسوبتان من:

$$P_1 = A_s F_y$$

$$P_2 = 0.85 f'_c A_c$$

حيث:

A_c = مساحة البيتون الفعالة، in^2 (mm^2).

f'_c = مقاومة ضغط البيتون في اليوم 28، Ksi (MPa).

A_s = المساحة الإجمالية لمقطع الفولاذ، in^2 (mm^2).

F_y = مقاومة خضوع الفولاذ، Ksi (MPa).

عدد الروابط المطلوبة بين نقطتي العزم الموجب الأعظمي والعزم السالب الأعظمي المجاور يجب أن يساوي أو يتجاوز N_2 المعطاة بالعلاقة:

$$N_2 = \frac{P + P_3}{\phi S_u}$$

وتُحسب القوة المؤثرة في البلاطة P_3 ، في نقاط العزوم السالبة الأعظمية، من:

$$P_3 = A_{sr} F_{yr}$$

حيث:

$$A_n = \text{مساحة التسليح الطولاني ضمن الجناح الفعال, (mm}^2\text{) in}^2.$$

$$F_y = \text{مقاومة خضوع فولاذ التسليح, (MPa) Ksi.}$$

مقاومة القص الحذية للروابط في الجسور

من أجل الأقفية:

$$S_u = 17.4 \left(h + \frac{t}{2} \right) w \sqrt{f'_c} \quad (10.1)$$

حيث:

$$h = \text{الشخانة الوسطية لجناح القناة, (mm) in.}$$

$$t = \text{ثخانة جسد القناة, (mm) in.}$$

$$w = \text{طول القناة, (mm) in.}$$

ومن أجل الدُسر الملحومة ((H/d ≥ 4 in (101:6 mm):

$$S_u = 0.4d^2 \sqrt{f'_c E_c} \quad (10.2)$$

إجهاد التصميم المقبول على القص في الجسور

Allowable-Stress Design For Shear In Bridges

يمكن أن يُحسب إجهاد القص المقبول، بالاعتماد على مواصفات أشتو (AASHTO) لجسور الطرق العامة، من العلاقة:

$$F_v = \frac{F_y}{3} C \leq \frac{F_y}{3}$$

ومن أجل العناصر المرونية بأجساد غير مقواة ونسبة $h/t_w < 150$ أو من أجل الجيزان الرئيسية بأجساد مقواة ونسبة a/h تتجاوز 3 و $(h/t_w)^2$ و 67,600، يكون:

$$\frac{h}{t_w} \leq \beta \text{ عندما } C = 1.0$$

$$\beta < \frac{h}{t_w} < 1.25\beta \text{ عندما } C = \frac{\beta}{h/t_w}$$

$$\frac{h}{t_w} > 1.25\beta \text{ عندما } C = \frac{45,000k}{F_y (h/t_w)^2}$$

$k = 5$ إذا كانت النسبة $\frac{a}{h}$ تتجاوز 3 أو $67,600 \left(\frac{h}{t_w} \right)^2$ أو إذا لم تكن المقويات مطلوبة، وإلا $k = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$.

$$\beta = 190 \sqrt{\frac{k}{F_y}}$$

أما إجهاد القص المقبول، في الجيزان الرئيسية بمقويات مستعرضة ونسبة a/h أقل من 3 ومن $(h/t_w)^2$ و 67,600، فيعطى بالعلاقة:

$$F_v = \frac{F_y}{3} \left[C + \frac{1-C}{1.15\sqrt{1+(a/h)^2}} \right]$$

وتكون المقويات مطلوبة عندما يتجاوز القص القيمة F_v .

النسب العظمى للعرض على الشخانة في عناصر الضغط العائدة لجسور الطرقات العامة

Maximum Width/Thickness Ratios For Compression Elements For Highway Bridges

يسرد الجدول 10.6 عدداً من الصيغ الخاصة بالنسب العظمى للعرض إلى الشخانة لعناصر الضغط في جسور الطرق العامة. وهذه الصيغ متاحة لتصميم جسر طريق عام.

الجدول 10.6 النسب العظمى للعرض إلى السماكة b/t لعناصر الضغط في جسور الطرق العامة^b

عامل تصميم المقاومة والقوة ^c		
d	معرض	وصف العنصر
بروز الجناح من جيزان على شكل Δ مدلفنة أو مُصَفَّعة.		
$e/70$	$\frac{65}{\sqrt{F_y}}$	أجساد في حالة انضغاط مروني
150	$\frac{608}{\sqrt{F_y}}$	
تصميم الإجهاد المقبول ¹		
وصف العنصر		
$f_u = 0.44 F_y$ $F_y = 36\text{ksi}(248\text{MPa}) \quad F_y = 50\text{ksi}(344.5\text{MPa})$		
12	11	صفائح مستعدة في طرف واحد وأضلاع زاوية ظاهرة (بارزة) في العناصر الرئيسية
12	11	في عناصر التقوية والعناصر الثانوية الأخرى
27	32	صفائح مستعدة على حافتين أو أجساد أشكال صندوقية ^e

الجدول 10.6 /تابع/ النسب العظمى للعرض إلى السماكة b/t لعناصر الضغط في جسور الطرق العامة^b

وصف العنصر	عامل تصميم الجمولة والمقاومة ^c	
	غير مرصوص	مرصوص
صنائح تنطية صلبة متصلة على جانبيها أو أحادي صلبة ^b	34	158 $\sqrt{f_a} \leq 50$
صنائح تنطية مثقبة، مشكلة على جانبيها خاصة بأشكال	41	190 $\sqrt{f_a} \leq 55$
صنائح تنطية	48	

a = عرض العنصر أو الجوزة الدائرة؛ = السماكة بנקطة الاستناد هي الخط الداخلي للكتبات أو الأشرطة اللحام التي تربط الصفائح بالقطعة الرئيسية أو حذر الحساح

في الأشكال المدفلة، في عامل تصميم مقادير الخيالة (LRFD) بالنسبة لأحصاد المقاطع الأخر صوصة، توجد $b = d$ حيث d عمق الجانز؛ وبالنسبة للمقاطع

الأخر صوصة، $b = D$ ، حيث D البنية للأحصاد بين مركبي الجانحين.

b وفق ما هو مطلوب في أشر (AASHTO) "الوابطات النظابة الخاصة بنسور الطرقات العامة". كذلك فإن الواصفات تعطي المخطورات والتحديدات في عناصر

الجبران المصفحة.

c F_y = إجهاد الخضوع الأصوري للبر للفراد، (MPa).

d إن العناصر بنسب عرض على سماكة تتجاوز حدود العناصر الأخر صوصة يجب أن تصمم كمعاصر خيفة.

e عندما يكون عزم الانعطاف الأعظمي M أقل من العزم القائم M_u أو بالأصح أقل من مقاومة العزم M_u ، فإن النسبة b/t الواردة في الجدول يمكن أن تُضرب

بـ $\sqrt{M_u/M}$.

f f_u = إجهاد الضغط المحوري المحسور، (MPa).

g للأشكال الصندوقية التي تتألف من صفائح رئيسية أو مقاطع مدلفة أو قطع مركبة مع صفائح تنطية.

h للأحصاد التي تربط الأجزاء الرئيسية أو القطع القائمة للأشكال الصندوقية أو الأشكال H.

Suspension Cables

أكبال التعليق

قوة شد أكبال تعليق على شكل قطع مكافئ، وأطوالها

غالباً ما تستخدم الأكبال الفولاذية في الجسور المعلقة لتتلقى حمولات الطريق الأفقية (الشكل 10.2). وتتخذ الأكبال، بحمولة موزعة بانتظام على الامتداد الأفقي للجسر، شكل قوس من قطع مكافئ. إذن فقوة الشد في منتصف المجاز:

$$H = \frac{wL^2}{8d}$$

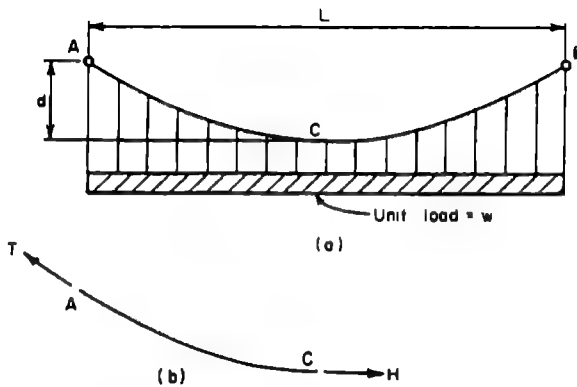
حيث؛

H = الشد في منتصف المجاز، Kip (N).

w = الحمولة على واحدة المسافة الأفقية، Kip/ft (kN/m).

L = طول المجاز، ft (m).

d = مسافة ارتخاء (تدلي) الكبل، ft (m). (انظر الشكل 10.2).



الشكل 10.2 كبل تدعيم حمولة موزعة بانتظام على الامتداد الأفقي.

تُعطى قوة الشد عند نقاط استناد الكبل بـ:

$$T = \left[H^2 + \left(\frac{wL}{2} \right)^2 \right]^{0.5}$$

حيث:

T = الشد عند نقاط الاستناد، (N) Kip.

أما الرموز الباقية فهي كما عُرِّفت من ذي قبل.

يمكن أن يُحسب طول الكبل S ، عندما تكون النسبة d/L مساوية إلى $1/20$ أو أقل، بصورة تقريبية من:

$$S = L + \frac{8d^2}{3L}$$

حيث:

S = طول الكبل، (m) ft.

شكل منحنى ارتقاء الكبل والمسافة بين المساند

إن كَبْلاً من مقطع عرضي منتظم يحمل وزنه الذاتي فقط سوف يأخذ شكل المنحنى المعروف بمنحنى السلسلة. وباستخدام نفس الترميز السابق، يتم إيجاد وسيط منحنى السلسلة C من:

* تُعطى المعادلة العامة لمنحنى السلسلة (منحنى ارتقاء الكبل) بـ:

$$y = \frac{C}{2} \left[e^{(x-\alpha)/C} + e^{-(x-\alpha)/C} \right] = C \cosh \frac{x-\alpha}{C}$$

حيث تعين قيمتا الثابتين الاختيارين α ، C من شروط تثبيت الطرفين. كان جاليليو يعتبر أن شكل الاتزان هذا هو قطع مكافئ، وقد صحح فيما بعد هيو جنس خطأ جاليليو. (المعدّ).

$$d + c = \frac{T}{w}$$

إذن:

$$c = \left[(d + C)^2 - \left(\frac{S}{2} \right)^2 \right]^{0.5}$$

$$S_{\text{ag}} = d + c \quad \text{ft (m)}$$

وبالتالي يكون طول المجاز: $L = 2c$ ، بأخذ نفس الرموز السابقة.

العلاقات العامة للأكبال المعلقة

General Relations For Suspension Cables

منحني ارتخاء الكبل (Catenary)

طول منحني الارتخاء S لكبل بسيط (الشكل 10.3) ذي حمولة q_0 بوحدة الطول للكبل مقاساً من النقطة المنخفضة للكبل مع أخذ الرموز المعطاة في الشكل 10.3 يساوي:

$$s = \frac{H}{q_0} \sinh \frac{q_0 x}{H} = x + \frac{1}{3!} \left(\frac{q_0}{H} \right)^2 x^3 + \dots$$

ويكون الشد في أي نقطة:

$$T = \sqrt{H^2 + q_0^2 s^2} = H + q_0 y$$

وتكون المسافة من النقطة المنخفضة C إلى المسند اليساري:

$$a = \frac{H}{q_0} \cosh^{-1} \left(\frac{q_0}{H} f_L + 1 \right)$$

حيث:

$$l = \text{المجاز، أو المسافة الأفقية بين المسندين } L \text{ و } R + a = b.$$

تُحل هذه المعادلة عادةً بالتجريب. القيمة التقديرية الأولى لـ H التي تستبدل في الطرف الأيمن من المعادلة يمكن أن يتم الحصول عليها بتقريب منحنى الارتقاء إلى منحنى قطع مكافئ. يمكن أن تُحسب المركبات الشاقولية لردي الفعل عند المساند من:

$$R_L = H \sin h \frac{q_0 a}{H} \quad , \quad R_R = H \sin h \frac{q_0 b}{H}$$

منحنى القطع المكافئ

الحمولات الحية المنتظمة الشاقولية والحمولات الميتة المنتظمة الشاقولية باستثناء وزن الكبل يمكن أن تُعامل عموماً كحمولات موزعة بانتظام فوق المسقط الأفقي للكبل. وتحت تأثير مثل هذه التحميلات، يأخذ الكبل شكل القطع المكافئ.

بفرض أن مبدأ الإحداثيات عند النقطة المنخفضة C (الشكل 10.3). فإذا كانت w_0 الحمولة بالقدم (بالمتر) أفقياً، فإن معادلة القطع المكافئ لمنحنى الكبل:

$$y = \frac{w_0 x^2}{2H}$$

والمسافة من النقطة المنخفضة C إلى المسند الأيسر L هي:

$$a = \frac{l}{2} - \frac{Hh}{w_0 l}$$

حيث:

$$l = \text{المجاز أو المسافة الأفقية بين المسندين } L \text{ و } R + a = b.$$

$$h = \text{المسافة الشاقولية بين المسندين.}$$

المسافة من النقطة المنخفضة C إلى المسند الأيمن R هي:

$$b = \frac{1}{2} + \frac{Hh}{w_0 l}$$

المسند المتوضعة على سويات مختلفة

يمكن حساب المركبة الأفقية لشد الكبل H من:

$$H = \frac{w_0 l^2}{h^2} \left(f_R - \frac{h}{2} \pm \sqrt{f_L f_R} \right) = \frac{w_0 l^2}{8f}$$

حيث:

f_L = المسافة الشاقولية من C إلى L.

f_R = المسافة الشاقولية من C إلى R.

f = مسافة تدلي (ارتخاء) الكبل المقاسة شاقولياً بدءاً من الوتر L_R عند منتصف المسافة بين المسندين (عند $x = Hh/w_0 l$).

كما هو مُحدّد في الشكل 10.3b:

$$f = f_L + \frac{h}{2} - y_M$$

حيث:

$$y_M = Hh^2/2w_0 l^2$$

ويجب أن تستخدم الإشارة السالبة لـ y_M عندما تكون النقطة المنخفضة C واقعة بين المسندين. فإن لم تكن ذروة القطع المكافئ C واقعة بين L و R فيجب أن تستخدم الإشارة الموجبة.

يمكن أن تُحسب المركبات الشاقولية لردود الأفعال عند المساند من:

$$V_L = w_o a = \frac{w_o l}{2} - \frac{Hh}{l}$$

$$V_R = w_o b = \frac{w_o l}{2} + \frac{Hh}{l}$$

الشّد عند أي نقطة:

$$T = \sqrt{H^2 + w_o^2 x^2}$$

طول قوس القطع المكافئ RC:

$$L_{RC} = \frac{b}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{w_o b}{H} \right)^2} + \frac{H}{2w_o} \sinh \frac{w_o b}{H}$$

$$= b + \frac{1}{6} \left(\frac{w_o}{H} \right)^2 b^3 + \dots$$

وطول قوس القطع المكافئ LC:

$$L_{LC} = \frac{a}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{w_o a}{H} \right)^2} + \frac{H}{2w_o} \sinh \frac{w_o a}{H}$$

$$= a + \frac{1}{6} \left(\frac{w_o}{H} \right)^2 a^3 + \dots$$

المساند على نفس السوية

يكون في هذه الحالة: $a = b = l/2$, $h = 0$, $f_L = f_R = f$.

ويمكن أن تحسب المركبة الأفقية لشّد الكبل H من:

$$H = \frac{w_o l^2}{8f}$$

والمركبات الشاقولية لردود الأفعال عند المساند:

$$V_L = V_R = \frac{w_o l}{2}$$

ويحدث الشد الأعظمي عند المساند ويساوي:

$$T_L = T_R = \frac{w_o l}{2} \sqrt{1 + \frac{l^2}{16f^2}}$$

وطول الكبل بين المسندين:

$$L = \frac{l}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{w_o l}{2H}\right)^2} + \frac{H}{w_o} \sinh \frac{w_o l}{2H}$$

$$= l \left(1 + \frac{8f^2}{3l^2} - \frac{32f^4}{5l^4} + \frac{256f^6}{7l^6} + \dots \right)$$

في حال تم تطبيق حمولة إضافية موزعة بانتظام على الكبل المكافئ، يكون التغير في مسافة الارتخاء يساوي على نحو تقريبي إلى:

$$\Delta f = \frac{15}{16} \frac{l}{f} \frac{\Delta L}{5 - 24f^2/l^2}$$

وبما يخص ارتفاع درجة الحرارة t ، يكون التغير في مسافة الارتخاء (تدلي الكبل الشاقولي) مساوياً تقريباً:

$$\Delta f = \frac{15}{16} \frac{l^2 c t}{f(5 - 24f^2/l^2)} \left(1 + \frac{8f^2}{3l^2} \right)$$

حيث:

c = أمثال التمدد الحراري.

تساوي الاستطالة المرونية للكيل المكافئي على نحو تقريبي إلى:

$$\Delta L = \frac{Hl}{AE} \left(1 + \frac{16 f^2}{3 l^2} \right)$$

حيث:

A = مساحة المقطع العرضي للكيل.

E = معامل المرونة لفولاذ الكيل.

H = المركبة الأفقية للشد في الكيل.

فإذا كان التغير المقابل للارتخاء صغيراً بحيث أن تأثيره على H يكون مهملاً، فيمكن لهذا التغير أن يُحسب من:

$$\Delta f = \frac{15}{16} \frac{Hl^2}{AEf} \frac{1+16f^2/3l^2}{5-24f^2/l^2}$$

في الحالة العامة للحمولة الشاقولية الميتة على الكيل، يُعطى الشكل الأولي للكيل بـ:

$$y_D = \frac{M_D}{H_D}$$

حيث:

M_D = عزم انعطاف الحمولة الميتة الذي سينتج عن الحمولة في جائر بسيط.

H_D = المركبة الأفقية للشد الناشئ عن الحمولة الميتة.

أما في الحالة العامة للحمولة الشاقولية الحية على الكيل، يُعطى الشكل النهائي للكيل:

$$y_D + \delta = \frac{M_D + M_L}{H_D + H_L}$$

حيث:

δ = التغير الشاقولي (التشوه) للكبل الناشئ عن الحمولة الحية.

M_L = عزم انعطاف الحمولة الحية الذي سينتج عن الحمولة الحية في جائر بسيط.

H_L = الزيادة في المركبة الأفقية للشد الناشئ عن الحمولة الحية.

وبطرح العلاقتين السابقتين ينتج:

$$\delta = \frac{M_L - H_L y_D}{H_D + H_L}$$

إذا ما تم افتراض أن شكل الكبل يأخذ شكل قطع مكافئ، فإن التقريب الدقيق لـ H يمكن أن يتم الحصول عليه من:

$$\frac{H_L}{AE} K = \frac{w_D}{H_D} \int_0^l \delta dx - \frac{1}{2} \int_0^l \delta'' \delta dx$$

$$K = l \left[\frac{1}{4} \left(\frac{5}{2} + \frac{16f^2}{l^2} \right) \sqrt{1 + \frac{16f^2}{l^2}} + \frac{3l}{32f} \log_e \left(\frac{4f}{l} + \sqrt{1 + \frac{16f^2}{l^2}} \right) \right]$$

حيث:

$$\delta'' = \frac{d^2 \delta}{dx^2}$$

وإذا أمكن إهمال الاستطالة المرونية و" δ " فإن:

$$H_L = \frac{\int_0^l M_L dx}{\int_0^l y_D dx} = \frac{3}{2fl} \int_0^l M_L dx$$

إذن، من أجل حمولة موزعة بانتظام أفقياً w_L :

$$\int_0^l M_L dx = \frac{w_L l^3}{12}$$

ويكون التزايد في المركبة الأفقية للشد الناشئ عن الحمولة الحية:

$$H_L = \frac{3}{2fl} \frac{w_L l^3}{12} = \frac{w_L l^2}{8f} = \frac{w_L l^2}{8} \frac{8H_D}{w_D l^2}$$

$$= \frac{w_L}{w_D} H_D$$

Cable Systems

انظمة الأكبال

يُعتبر الكبل المُقَعَّر نحو الأسفل عادةً هو الكبل الذي يعبأ بالحمولة (الشكل 10.4). فإذا كان الإجهاد المسبق في هذا الكبل يتجاوز الإجهاد في الكبل الآخر، فإن الترددات الطبيعية للاهتزاز في الكبلين تختلف دائماً من أجل أي قيمة للحمولة الحية. ولتجنب حدوث الرنين (يعني حدوث سعة اهتزاز كبيرة نتيحة التوافق) لابد من تزايد الفارق بين ترددات الكبلين مع تزايد الحمولة.

وهكذا، ينزغُ الكبلان ليأخذا شكلين مختلفين تحت تأثير حمولات ديناميكية معينة.

وبالحصول، تقوم طاقة الاهتزاز المنتقلة من أحد الأكبال إلى الكبل الآخر بتخميد الاهتزازات في كلا الكبلين.

يمكن أن يُقدَّر التردد الطبيعي لكل كبل، دورة بالثانية، من:

$$\omega_n = \frac{n\pi}{l} \sqrt{\frac{Tg}{w}}$$

حيث:

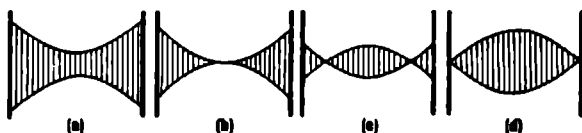
n = عدد صحيح، يساوي الواحد من أجل نمط الاهتزاز الأولي (الأساسي) ويساوي 2 من أجل نمط الاهتزاز الثانوي،

l = مجاز الكبل، ft (m).

w = الحمولة المؤثرة على الكبل، Kip/ft (kN/m).

g = التسارع الناشئ عن الجاذبية = $32.2 \text{ (ft/s}^2\text{)}$.

T = شد الكبل، Kip (N).



الشكل 10.4 منظومات أكبال مستوية (تقع في مستوى واحد)

(a) كبلان منفصلان كلياً. (b) كبلان يتقاطعان في وسط المجاز

(c) كبلان متصلان (d) كبلان يلتقيان عند المساند.

تُفرضُ انفراجات عناصر الجائز الشبكي الكبلي (الكابولي) الشرط الذي يجب أن يكون فيه التغير في ارتفاعات الأكبال، نتيجة تأثير حمولة معطاة، متساوية (يعني؛ الانفراجات الزاوية بين عناصر الجائز الشبكي هي التي تتحكم بارتفاع الكبال). مع ذلك، قد يكون التغيران في شد الكبلين غير متساويين.

فإذا كانت نسبة الارتفاع إلى المجاز f/l صغيرة (أقل من 0.1 تقريباً)، من أجل كبل على شكل قطع مكافئ، فإن التغير في الشد يُعطى على نحو تقريبي بـ:

$$\Delta H = \frac{16 A E f}{3 l^2} \Delta f \quad (\text{تغير قيمة الشد في كبل نتيجة تأثير حمولة})$$

حيث:

Δf = التغير في الارتخاء للكابل.

A = مساحة المقطع العرضي للكابل.

E = معامل مرونة فولاذ الكابل.

11

صيغ الطرقات
والطرقات العامة (السريعة)

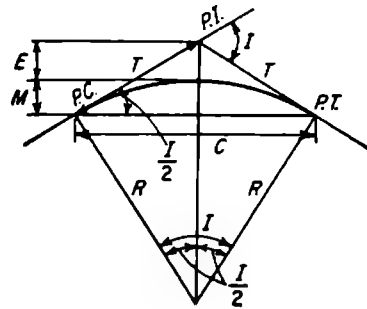
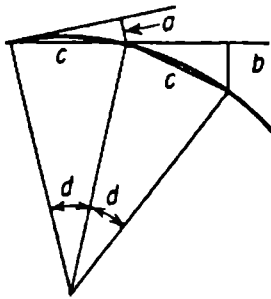
Highway and Road Formulas

Circular Curves

المنحنيات الدائرية

المنحنيات الدائرية هي النموذج الأكثر شيوعاً في المنحني الأفقي المستخدم لوصف المقاطع ذات المسامت (المستقيمات) المتقاطعة للطرق العامة أو لخطوط السكك الحديدية. ففي أغلب بلدان العالم ثمة طريقتان لتعريف المنحنيات الدائرية تُستخدمان: تُعرفُ الطريقة الأولى، المستخدمة عموماً في أعمال الخط الحديدي، درجة المنحني بالزاوية المركزية المُحدَّدة بقوس طوله 100 قدم (30.48 متر).

المصطلحات والرموز المستخدمة بشكل عام في المنحنيات الدائرية تم إدراجها لاحقاً وإيضاحها في الشكلين 11.1 و 11.2.



الشكل 11.2 الانزياحات عن المنحني الدائري

الشكل 11.1 منحني دائري

PC = نقطة الانحناء، بداية المنحني.

PI = نقطة تقاطع المسامت.

PT = نقطة التماس، نهاية المنحني.

R = نصف قطر المنحني، (m) ft.

D = درجة المنحني (انظر النص السابق).

- I = زاوية تغيّر الاتجاه بين المماسين عند PI، أيضاً الزاوية المركزية للمنحني.
- T = المسافة المماسية، وهي المسافة من PI إلى PC أو إلى PT، (m) ft.
- L = طول المنحني من PC إلى PT مقاساً على وتر طوله 100 قدم (30.48 متر) من أجل التعريف الوتري، أو مقاساً على قوس طوله 100 قدم (30.48 متر) من أجل التعريف القوسي، (m) ft.
- C = طول امتداد الوتر من PC إلى PT، (m) ft.
- E = المسافة الخارجية، وهي المسافة من PI إلى النقطة الوسطية (منتصف) للمنحني، (m) ft.
- M = الإحداثي الرأسي الأوسط، وهي المسافة من النقطة الوسطية للمنحني إلى النقطة الوسطية للوتر، (m) ft.
- d = الزاوية المركزية لجزء من المنحني ($d < D$).
- l = طول المنحني (القوس) المُعَيَّن بالزاوية المركزية d، (m) ft.
- c = طول المنحني (الوتر) المُعَيَّن بالزاوية المركزية d، (m) ft.
- a = انزياح المماس من أجل وتر طوله c، (m) ft.
- b = انزياح الوتر من أجل وتر طوله c، (m) ft.

معادلات المنحنيات الدائرية

$$R = \frac{5,729.578}{D} \text{ دقيق من أجل التعريف القوسي، وتقريبي من أجل التعريف الوتري.}$$

$$R = \frac{50}{\sin \frac{1}{2} D} \text{ دقيق من أجل التعريف الوتري.}$$

$$T = R \tan \frac{1}{2} I \text{ دقيق}$$

$$\text{دقيق } E = R \operatorname{ex} \sec \frac{1}{2} I = R \left(\sec \frac{1}{2} I - 1 \right)$$

$$\text{دقيق } M = R \operatorname{vers} \frac{1}{2} I = R \left(1 - \cos \frac{1}{2} I \right)$$

$$\text{دقيق } C = 2R \sin \frac{1}{2} I$$

$$\text{دقيق } L = \frac{100I}{D}$$

$$\text{تقريبي } L - C = \frac{L^3}{24R^2} = \frac{C^3}{24R^2}$$

$$\text{دقيق بالنسبة للتعريف القوسي. } d = \frac{DI}{100}$$

$$\text{تقريبي بالنسبة للتعريف الوترى. } d = \frac{Dc}{100}$$

$$\text{دقيق بالنسبة للتعريف الوترى. } \sin \frac{d}{z} = \frac{c}{2R}$$

$$\text{تقريبي. } a = \frac{c^2}{2R}$$

$$\text{تقريبي. } b = \frac{c^2}{R}$$

ملاحظة : جميع العلاقات السابقة تقرأ من اليسار إلى اليمين.

Parabolic Curves

منحنيات القطوع المكافئة

تُستخدم منحنيات القطوع المكافئة لوصل مقاطع الطرق العامة والخطوط الحديدية ذات الميول المختلفة. فيعطي استخدام منحنى القطع المكافئ تغيراً متدرجاً في السير على امتداد المنحنى.

المصطلحات والرموز المستخدمة عموماً في منحنيات القطوع المكافئة تم إدراجها لاحقاً وتوضيحها في الشكل 11.3.

PVC = نقطة الانحناء الرأسي، بداية المنحني.

PVI = نقطة التقاطع الرأسي للميلين على كل جانب من المنحني.

PVT = نقطة التماس الشاقولية، نهاية المنحني.

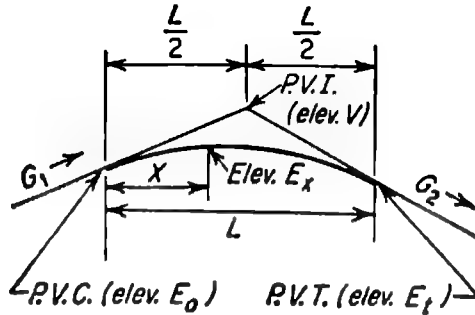
G_1 = الميل في بداية المنحني، ft/m (m/m).

G_2 = الميل في نهاية المنحني، ft/m (m/m).

L = طول المنحني، ft (m).

R = معدل تغير الميل، ft/ft^2 (m/m²).

V = علو (ارتفاع) الـ PVI، ft (m).



الشكل 11.3 منحنى قطع مكافئ رأسي (منحني قمة)

E_0 = علو (ارتفاع) الـ PVC، ft (m).

E_t = علو (ارتفاع) الـ PVT، ft (m).

x = بعد أي نقطة على المنحني بدءاً من الـ PVC، ft (m).

E_x = علو النقطة x بدءاً من الـ PVC، ft (m).

X_s = البعد من الـ PVC إلى أخفض نقطة على منحني التدلي أو إلى أعلى نقطة على منحني القمة، ft (m).

E_s = ارتفاع أخفض نقطة على منحني التدلي أو أعلى نقطة على منحني القمة، ft (m).

معادلات منحنيات القطوع المكافئة

يُفترض لا بل يجب أن تستخدم دائماً الكميات الجبرية في معادلات منحني القطع المكافئ المعطاة لاحقاً. الميول الصاعدة موجبة والميول الهابطة سالبة.

$$R = \frac{G_2 - G_1}{L}$$

$$E_o = V - \frac{1}{2}LG_1$$

$$E_x = E_o + G_1x + \frac{1}{2}Rx^2$$

$$x_s = -\frac{G_1}{R}$$

$$E_s = E_o - \frac{G_1^2}{2R}$$

ملاحظة: إذا كانت x_s سالبة أو $x_s > L$ ، فلا يكون للمنحني نقطة مرتفعة أو نقطة منخفضة.

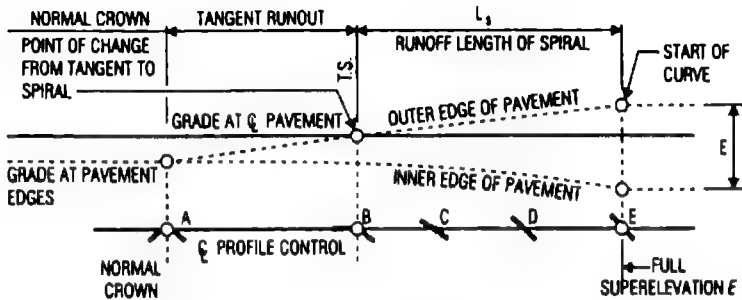
منحنيات الطرق العامة وسلامة السائق

Highway Curves And Driver Safety

تؤخذ الاحتياطات والشروط عادةً عند الانتقال التدريجي من المماس إلى بداية المنحني الدائري وذلك من أجل سلامة وراحة السائقين.

وكما هو موضح في الشكل 11.4، تكون الحافة الخارجية مرفوعة أولاً بطريقة نموذجية حتى يصير النصف الخارجي للمقطع العرضي على سوية التحدّب (النقطة B). ثم يتم رفع الحافة الخارجية أيضاً حتى يصير المقطع العرضي مستقيماً (النقطة C). ومما ذكر، يكون المقطع العرضي بأكمله قد تمّ تدويره حتى الوصول إلى العلو الإضافي كاملاً (النقطة E).

تكون المقاطع العرضية، للطرق العامة المزودة بعلو إضافي، مستخدمة على نحو نموذج في منحنيات الطرق العامة البرية والطرق السريعة المدنية. ونادراً ما يستخدم العلو الإضافي في شوارع المناطق المأهولة والمناطق التجارية والصناعية.



الشكل 11.4 تغيرات العلو الإضافي على امتداد منحني الانتقال الحلزوني.

Highway Alignments

استقامات الطريق العام

يرتبط تصميم الشكل الهندسي، لطريق عام، بالاستقامة (الامتداد الخطي) الأفقية والشافولية بالإضافة إلى عناصر المقطع العرضي.

فالامتداد الخطي الأفقي لطريق عام يُعرَّفُ موقعه واتجاهه في المشهد الأفقي.

أما الامتداد الخطي الشافولي لطريق عام فيُتعامَل مع شكله في المشهد الجانبي.

ومن أجل طريق عام بحارات مرورية متجاورة، يمكن أن يُمثَل الامتداد الخطي بالخط المركزي للطريق.

وضع المحطات

تُقاس المسافة على امتداد الاستقامة الأفقية بواسطة محطات. وتُعرَّف المحطة الكاملة بـ 100 قدم (30.48 m) والمحطة النصفية بـ 50 قدم (15.24 m). فالمحطة 50 + 100 هي محطة تبعد 150 قدم (45.7 m) من بداية الاستقامة أي من المحطة 0 + 0. والنقطة التي تبعد 1492.27 قدم (454.84 m) من المحطة 0 + 0 يُرمز لها بـ 14 + 92.27، وهي تحدد موقع 14 محطة، 1400 قدم (426.72 m) زائد 92.27 قدم (28.12 m)، وذلك من نقطة بداية الاستقامة. وتقاس هذه المسافة أفقياً على امتداد الخط المركزي للطريق لتوضيح إذا ما كانت مماسية أو منحنية أو تركيباً من الاثنين معاً.

مسافة الرؤية (مسافة رؤية توقف السائق)

وهي الطول المطلوب من الطريق، بين العربة وجسم عشوائي (في نقطة ما من انحدار الطريق)، لتمكين السائق من إيقاف العربة بأمان قبل وصوله العائق. ولن يكون هذا مُربكاً بأخذ مسافة رؤية المرور أو العبور التي تعرفها أشتو (الجمعية الوطنية الأمريكية الرسمية للطرق والنقل) بـ "طول الطريق الذي يكون مرئياً على

امتداد تقدم السائق". يُبين الشكل 11.5 الوسطاء التي تتحكم بمسافة الرؤية فوق قمة منحنى شاقولي.



الشكل 11.5 مسافة الرؤية فوق منحنى رأسي مُحدَّب

تعرف أشتو، من أجل المنحنيات الرأسية المحدبة، الطول الأصغري L_{min} للمنحنيات الرأسية المحدبة، بالاستناد على مسافة الرؤية المطلوبة S ، والتي تُعطى وفق ما يلي:

$$L_{min} = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2H_1} + \sqrt{2H_2})^2} \quad S < L$$

وعندما يكون علو العين 3.5 قدم (1.07 m) وارتفاع الجسم 0.5 قدم (0.152 m) فإن:

$$L_{min} = \frac{AS^2}{1329} \quad S < L$$

أيضاً، تُعطى L_{min} في المنحنيات الرأسية المحدبة بـ:

$$L_{min} = 25 - \frac{200(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}{AS^2} \quad S > L$$

وعندما يكون علو العين 3.5 قدم (1.07 m) وعلو الجسم 0.5 قدم (0.152 m) تصبح:

$$L_{\min} = 25 - \frac{1329}{AS^2} S > L$$

حيث:

A = الفارق الجري في ميللي المماسين للمنحني الرأسي، يؤخذ بنسبة مئوية.

H_1 = علو العين فوق سطح الطريق، ft (m).

H_2 = علو الجسم فوق سطح الطريق، ft (m).

أداة التصميم التي تتحكم بالمنحنيات الشاقولية يمكن ترسيخها باستخدام مُعدِّل الانحناء الرأسي K المعروف بالعلاقة:

$$p K = \frac{L}{A}$$

حيث:

L = طول المنحني الرأسي، ft (m)

A تم تعريفها سابقاً.

يفيد K في تعيين مسافة الرؤية الأصغرية وهي طول المنحني الرأسي من النقطة PVC إلى نقطة التحول (نقطة النهاية القصوى على المُحدَّب ونقطة النهاية الدنيا على المقعر). ويتم إيجاد هذه المسافة بمبدأ K بتدرج الاقتراب.

لقد تم نشر القيم الموصى بها لـ K من أجل سرعات تصميمية متعددة ومسافات رؤية، خاصة بمنحنيات التحدب والتقعر الشاقولي، من قبل أشتو.

الأرقام الإنشائية الخاصة بالرصف المرن Structural Numbers For Flexible Pavements

يتطلب تصميم الرصف المرن أو الرصف بالمعالجة السطحية، المتوقع أن يحتمل أكثر من 50,000 تكرار لحمولة محور Kip - 18 منفرد مكافئ، تشخيصاً للعدد الإنشائي SN الذي يستخدم كأداة قياس لقدرة تحمل الرصف الحمولات المحورية المتوقعة.

ويُعرف العدد الإنشائي في طريقة تصميم أشتو بـ:

$$SN = SN_1 + SN_2 + SN_3$$

حيث:

$$SN_1 = \text{العدد الإنشائي للطبقة السطحية} = a_1 D_1$$

$$a_1 = \text{أمثال ثخانة الطبقة السطحية.}$$

$$D_1 = \text{الثخانة الفعلية للطبقة السطحية، (mm) in.}$$

$$SN_2 = \text{العدد الإنشائي لطبقة الأساس} = a_2 D_2 m_2$$

$$a_2 = \text{أمثال ثخانة طبقة الأساس.}$$

$$D_2 = \text{الثخانة الفعلية لطبقة الأساس، (mm) in.}$$

$$m_2 = \text{أمثال تصريف طبقة الأساس.}$$

$$SN_3 = \text{العدد الإنشائي لطبقة ما تحت الأساس} = a_3 D_3 m_3$$

$$a_3 = \text{أمثال ثخانة طبقة ما تحت الأساس.}$$

$$D_3 = \text{الثخانة الفعلية لطبقة ما تحت الأساس، (mm) in.}$$

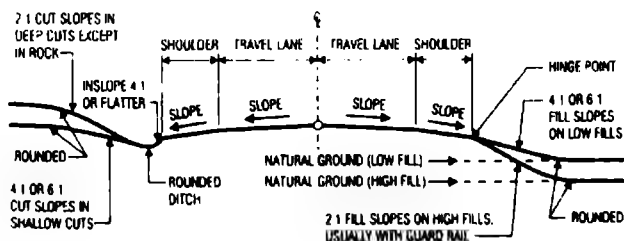
$$m_3 = \text{أمثال تصريف طبقة ما تحت الأساس.}$$

إن أمثال ثخانة الطبقات a_n الخاصة بالمواد المستخدمة في كل طبقة تحوّل الأعداد الإنشائية إلى الثخانة الفعلية. فهي قياس للقدرة النسبية للمواد لتعمل كمرحلة

إنشائية في الرصف. هنالك العديد من وكالات النقل لها قيمها الخاصة بما يخص هذه الأمثال. وكدليل أو كموجه عام، يمكن أن تكون أمثال ثخانة الطبقات، 0.44 بالنسبة لطبقة سطحية من البتون الإسفلتي، و 0.14 بالنسبة لطبقة الأساس من الأحجار المكسرة، و 0.11 بالنسبة لطبقة ما تحت الأساس من الحجر الرملي.

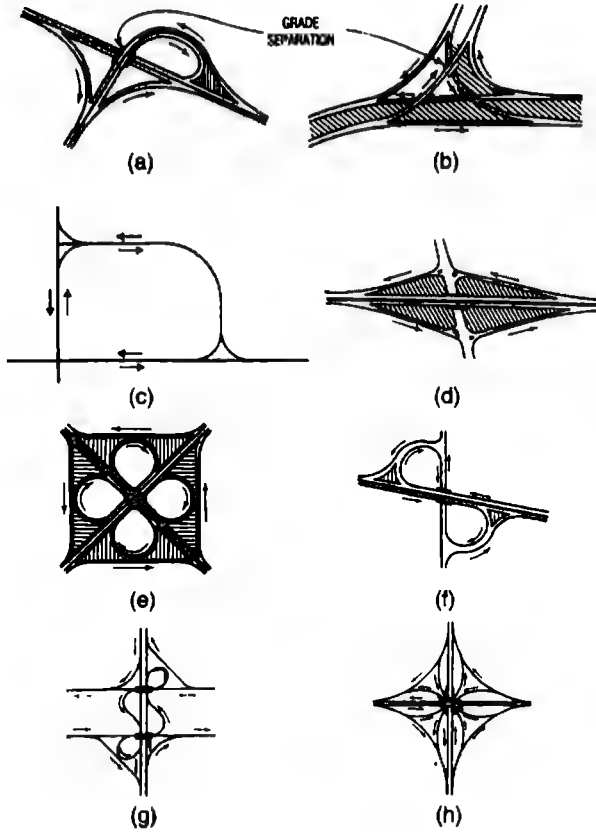
يجب أن يتم تدوير قيمة السماكات D_1 و D_2 و D_3 إلى أقرب نصف $\left(\frac{1}{2}\right)$ من الإنش (12.7 mm) (يعني لا يجوز وضع 7.3 إنش مثلاً، بل يجب وضع 7.5 إنش). ويعتمد اختيار ثخانة الطبقة عادةً على معايير الوكالة وإمكانية صيانة الرصف والإمكانات الاقتصادية.

يوضح الشكل 11.6 الميول العرضية الخطية من طريق عام نموذجي بحارقي مرور.



الشكل 11.6 طريق عام نموذجي ذو حارتين مع ميول عرضية خطية.

ويوضح الشكل 11.7 استخدام المنحنيات الدائرية في عددٍ من الطرق العامة المتقاطعة على سويات منفصلة.

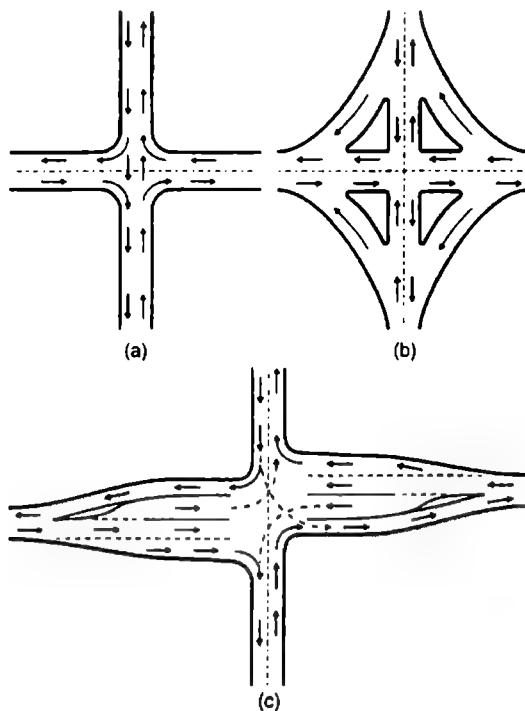


الشكل 11.7

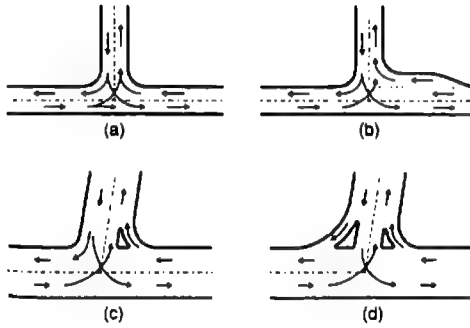
نماذج من طرق عامة ذات تقاطعات متبادلة على سويات منفصلة (أو مختلفة). (a) تقاطع على شكل T أو الترامبيت (أداة موسيقية). (b) تقاطع على شكل Y أو دلتا. (c) تقاطع ربعي. (d) تقاطع على شكل كرت الدينار في لعبة الشدة. (e) تقاطع ورقة البرسيم التام. (f) تقاطع ورقة البرسيم الجزئي. (g) تقاطع نصف مباشر. (h) تقاطع بأربع حارات مرورية وفق جميع الاتجاهات.

يوضح الشكل 11.8 استخدام المنحنيات في أربع تقاطعات على نفس السوية (لا يوجد انفصال مروري) من طرق عامة. ويوضح الشكل 11.9 استخدام المنحنيات في تقاطعات على شكل حرف T (ثلاثية الفروع) على نفس السوية.

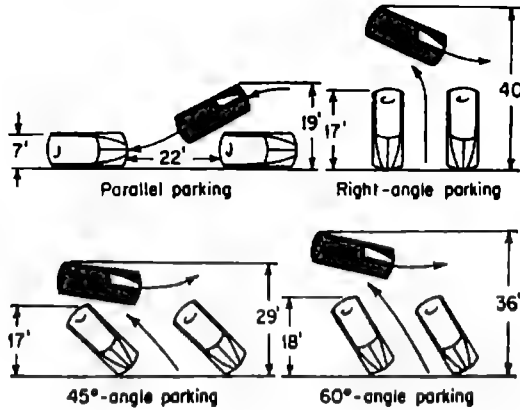
ويوضح الشكل 11.10 حيز الشارع وحيز المناورة المستخدمة في أوضاع اصطاف متعددة للسيارات.



الشكل 11.8 حارات انعطاف في طريق عام. (a) غير موجهة. (b) موجهة. (c) مضادة بإشارات مرورية.



الشكل 11.9 حارات انعطاف ممرورية لطريق عام. (a) غير موجه. (b) تقاطع مع حارة الانعطاف الأيمن. (c) تقاطع مع طريق انعطاف أحادي. (d) تقاطع موجه بزواج من طرق الانعطاف.



الشكل 11.10 حيز الشارع وفضاء المناورة المستخدمان في أوضاع اصطافاف متعددة للسيارات. النظام الأمريكي USCS (أو الدولي SI) بالقدم (بالمتر): 7 ft (2.13 m), 17 ft (5.18 m), 18 ft (5.49 m), 19 ft (5.79 m), 22 ft (6.7 m), 29 ft (8.84 m), 36 ft (10.97 m), 40 ft (12.19 m).

منحنيات الانتقال (الحلزونية) Transition (Spiral) Curves

تعرض العرب، فور دخولها في المنحني الدائري الأفقي هي وحملتها، إلى قوى طاردة (نابهة) مركزية. وكلما كان دخول العربات إلى المنحني الدائري سريعاً والانحناء حاداً، ازداد التأثير على العربات والسائقين من جراء الانتقال من المماس إلى المنحني. وفي حال لم يتم تزويد منحنيات الانتقال الحلزونية، ينزع السائقون لإيجاد منحنياتهم الانتقالية الخاصة بهم بواسطة التحرك جانبياً في حارهم المرورية وأحياناً بمناورة خطيرة إلى الحارة المجاورة.

يمكن حساب الطول الأصغري L للمنحني الحلزوني، مقدراً بـ (m) ft، من:

$$L = \frac{3.15V^3}{RC}$$

حيث:

V = سرعة العرب، (Km/h) mi/h .

R = نصف قطر المنحني الدائري الذي سيوصل به الحلزون، (m) ft.

C = معدل تزايد التسارع القطري.

تضمنت القيم العملية، التي أظهرت صورة عن الراحة والأمان، قيماً لـ C غالباً ما تراوحت بين 1 و 3، وذلك بالنسبة للطرق العامة. (أما بما يخص خطوط السكك الحديدية فغالباً ما تؤخذ C مساوية للواحد). والطريقة الأخرى الأكثر عملية، من أجل حساب الطول الأصغري للمنحني الحلزوني المطلوب للوصل مع المنحنيات الدائرية، هي أن تبنى أو أن تستند على الطول المطلوب للمسيل المطري ذي العلو الإضافي.

تصميم شبكة التصريف التحتية لطريق عام

Designing Highway Culverts

مصرف طريق عام هو وسيلة تصريف تشبه الأنبوب تسمح للماء بالجريان تحت الطريق دون أي إعاقة لحركة المرور. وتكون أنابيب الفولاذ الحلزونية والتموجة شائعة الاستخدام في شبكة التصريف التحتية لأنها يمكن أن تُنصَب وتُمدَّ بسرعة وكذا لعمرها المديد وتكلفتها المنخفضة ولكونها تتطلب صيانة قليلة. وفي حال استخدام الأنبوب الفولاذي المتموج، لابد أن تكون هناك مقاومة ارتباط (قوة خط الوصل بين إنبوين) كافية لاستيعاب دفع الضغط الحلقي أو الخطي (c) الآتي من الحمولة الإجمالية التي يعبأ بها الأنبوب. ويساوي دفع الضغط هذا للمنشأة، مقدراً بـ $(N/m) \text{ lb/ft}$ ، إلى:

$$C = (LL + DL) \frac{S}{2}$$

حيث:

LL = ضغط الحمولة الحية، $(N/m^2) \text{ lb/ft}^2$.

DL = ضغط الحمولة الميتة، $(N/m^2) \text{ lb/ft}^2$.

S = المحاز (أو القطر)، ft (m).

إن مقاومة التداول (تعبئة ونقل وتفريغ) والتنصيب يجب أن تكون كافية لامتدوع عمليتي شحن ووضع الأنبوب في مكانه المطلوب في موقع العمل على الطريق العام. ويُقاس مقاومة التداول بعامل المرونة المُعَيَّن من العلاقة:

$$FF = \frac{D^2}{EI}$$

حيث:

D = قطر الأنبوب أو المجاز الأعظمي، in (mm).

E = معامل مرونة مادة الأنبوب، lb/in^2 (MPa).

I = عزم العطالة بوحدة البعد في المقطع العرضي لجدار الأنبوب، in^4/mm^4 .

يكون ضغط الإجهاد الحلقي الذي يصبح عنده التحنيط حرجاً في منطقة تبادل الفعل، وذلك بالنسبة لأقطار أقل من $126.5 r/K$ ، مساوياً إلى:

$$f_c = 45,000 - 1.406 \left(\frac{KD}{r} \right)^2$$

أما من أجل أقطار أكبر من $126.5 r/K$ ، فيكون f_c :

$$f_c = \frac{12E}{(KD/r)^2}$$

حيث:

f_c = إجهاد التحنيط، lb/in^2 (MPa).

K = عامل صلابة التربة.

D = قطر الأنبوب أو مجازه، in (mm).

r = نصف قطر العطالة لجدار الأنبوب، in^4/mm^4 .

E = معامل المرونة لمادة الأنبوب، lb/in^2 (MPa).

ملاحظة: من أجل ردمية ممتازة مرصوصة حتى نسبة 90 إلى 95 بالمئة من الكثافة

المعيارية، تؤخذ: $K = 0.22$.

ومن أجل ردمية جيدة مرصوفة إلى نسبة 85 بالمئة من الكثافة المعيارية، تؤخذ:
 $K = 0.44$.

يُعطى تشوّه الماسورة (الأنبوب) بالصيغة المسماة صيغة إيوا — Iowa formula. وتعطي هذه الصيغة التأثير النسبي على مقاومة الأنبوب والضغط الجانبي السالب المقاوم للحركة الأفقية لجدار الأنبوب، أو بالصيغة:

$$\Delta_x = \frac{D_1 K W_c r^3}{EI + 0.061 E' r^3}$$

حيث:

Δ_x = التشوه الأفقي للأنبوب، in (mm).

D_1 = عامل تخلف التشوّه (تشوّه متأخر).

K = ثابت التوضع الطبقي (يعتمد على زاوية توضع الطبقات).

W_c = الحمولة الشاقولية بوحدة طول الأنبوب، ليرة بالإنش الخطي (N/mm).

r = نصف القطر الوسطي للأنبوب، in (mm).

E = معامل مرونة مادة الأنبوب، lb/in² (MPa).

I = عزم العطالة بوحدة البعد للمقطع العرضي لجدار الأنبوب، in⁴/mm⁴.

E' = معامل المقاومة العكسية (السالبة) للتربة المُغلّفة، lb/in² (MPa).

لم يسبق وأن تم ربط معامل التربة E' بأنواع الردميات والرص. ويحدّ هذا الربط، في الحقيقة، من فاعلية الصيغة في تحليل المنشآت المنصّبة الواقعة تحت المراقبة.

الإجراءات التصميمية المتبعة في الجمعية العلمية الأمريكية للفولاذ والحديد (AISI)

American Iron And Steel Institute (Aisi) Design Procedure

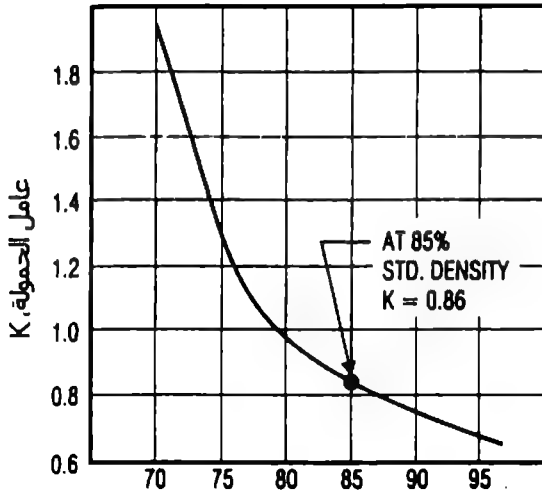
الإجراءات التصميمية، الخاصة بمنشآت الفولاذ المتواج، الموصى بها في الكتاب المرجعي المساعد للجمعية حول شبكة الصرف الفولاذي ومشاريع الطرق العامة، أعطيت بما سيأتي.

كثافة الردمية

اختر نسبة مئوية للرص في ردمية الأنبوب من أجل التصميم. ويُفترض لا بل يجب أن تعكس القيمة المختارة، أهمية وحجم المنشأة وكذا الجودة التي يمكن توقعها منطقياً. القيمة الموصى بها في المشاريع الرتببة (الروتينية) هي 85 بالمئة. وتطبق عادةً هذه القيمة على التنصيات السهلة التي تتطلب معظم المواصفات من أجلها نسبة رص تصل إلى 90 %. ومهما يكن من أمر، بما يخص المنشآت الأكثر أهمية في حالات الردم الأكثر جودة، لابد من إعطاء الأهمية والاعتبار في انتقاء ردمية عالية الجودة واحتياج هذه الردمية في الإنشاء.

الضغط التصميمي

إذا كان علو غطاء الردم مساوياً إلى أو أكبر من مجاز أو قطر القطعة الإنشائية، عليك أن تقوم بإدخال مخطط عامل الحمولة (الشكل 11.11) لتعيين النسبة المئوية للحمولة الإجمالية الفاعلة على الفولاذ. ففي المشاريع الروتينية، تعطي نسبة رص 85 % للتربة، عامل الحمولة: $K = 0.86$.



نسبة الرص المميزة للتربة، % (معياري أشتونو T-99)

الشكل 11.11 عوامل التحميل للأنابيب الفولاذية المتموجة موضوعة ضمن المخطط كتابي للرص المميز للردمية.

تُضرب الحمولة الإجمالية بـ K للحصول على حمولة الضغط التصميمية P_v الفاعلة على الفولاذ.

إذا كان علو غطاء الردم أقل من قطر أحد الأنابيب، فتفرض الحمولة الإجمالية TL هي الفاعلة على الأنبوب، ويكون $TL = P_v$ ، يعني:

$$P_v = DL + LL + I \quad H < S$$

وفي حال كان علو الردم مساوياً إلى، أو أكبر من قطر أحد الأنابيب، فإن:

$$P_v = K (DL + LL + I) \quad H \geq S$$

حيث:

$$P_v = \text{حمولة الضغط التصميمية، (MPa/m}^2\text{) Kip/ft}^2\text{.}$$

$$K = \text{عامل الحمولة.}$$

$$DL = \text{الحمولة الميتة، (MPa/m}^2\text{) Kip/ft}^2\text{.}$$

$$LL = \text{الحمولة الحية، (MPa/m}^2\text{) Kip/ft}^2\text{.}$$

$$I = \text{حمولة الرص، (MPa/m}^2\text{) Kip/ft}^2\text{.}$$

$$H = \text{علو غطاء الردم، (m) ft.}$$

$$S = \text{بجاءز أو قطر الأنبوب، (m) ft.}$$

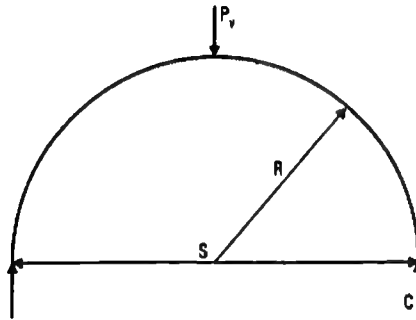
الضغط الحلقي (الخطي)

يساوي دفع الضغط الحلقي C على الجدار الأنبوبي، مقدراً بـ $(\text{MPa/m}) \text{ Kip/ft}$ ، إلى حمولة الضغط القطرية P_v ، المقدرة بـ $(\text{MPa/m}^2) \text{ Kip/ft}^2$ ، الفاعلة على الجدار والمضروبة بنصف قطر الجدار R المقدّر بـ $(\text{m}) \text{ ft}$. أو: $C = P_v R$.

قوة الدفع هذه - المسماة بالضغط الحلقي - هي القوة التي يعبأ بها الفولاذ. فالضغط الحلقي هو حمولة محورية تعمل بصورة مماسية على الجدار الأنبوبي (الشكل 11.12).

في المنشآت التقليدية التي يقترب فيها القوس العلوي من نصف دائرة، يكون من الملائم استبدال نصف قطر الجدار بنصف الجاءز. وبالتالي:

$$C = P_v \frac{S}{2}$$



الشكل 11.12 حمولة ضغط قطري P_v ، على جدار أنبوبي محني، مقاومة بدفع الضغط الحلقي C.

الإجهاد الجداري المسموح

يُعبّر عن الضغط الحدي في جدار الأنبوب بواسطة المعادلتين (11.1) و(11.2) اللاحقتين. يساوي إجهاد الجدار الحدي إلى إجهاد الخضوع الأصغري المُميّز للفولاذ ويكون مطبقاً على منطقة خضوع أو تمسّر (تمشّم) الجدار. تطبق المعادلة (11.1) على منطقة تبادل فعل الخضوع والتحنيب الحلقي. أما المعادلة (11.2) فتتطبّق على منطقة التحنيب الحلقي.

عندما لا تتجاوز نسبة قطر الأنبوب أو مجازه على نصف قطر العطالة للمقطع العرضي للأنبوب، D/r ، المقدار 294، فعندها يمكن أن يؤخذ الإجهاد الحدي للجدار مساوياً إلى مقاومة خضوع الفولاذ:

$$F_b = F_y = 33 \text{ Ksi (227.4 MPa)}$$

وعندما تتجاوز النسبة D/r المقدار 294 ولكن لا تتعدى المقدار 500، فعندها يُعطى الإجهاد الحدي للجدار، مقدراً بـ Ksi (MPa) ، بالعلاقة:

$$F_b = 40 - 0.000081 \left(\frac{D}{r} \right)^2 \quad (11.1)$$

وعندما تتجاوز النسبة D/r المقدار 500:

$$F_b = \frac{4.93 \times 10^6}{(D/r)^2} \quad (11.2)$$

يتم تطبيق عامل أمان مقداره 2 على الإجهاد الحدي للجدار من أجل الحصول على الإجهاد التصميمي F_c ، المقدّر بـ Ksi (MPa)، من العلاقة:

$$F_c = \frac{F_b}{2} \quad (11.3)$$

ثخانة الجدار

تُحسب مساحة الجدار المطلوبة بوحدة العرض، in^2/ft (mm^2/m)، من الضغط الحلقي C المحسوب في جدار الأنبوب ومن الإجهاد المسموح F_c :

$$A = \frac{C}{F_c} \quad (11.4)$$

ولك أن تنتقي من خلال جدول الـ AISI، الخاص بالمواسير تحت أرضية، ثخانة الجدار التي تعطي المساحة المطلوبة الموافقة لمساحة التمجج (الفولاذي) المستخدمة في انتقاء الإجهاد المسموح.

اختبار صلابة التداول

لقد تمّ ترسيخ مستلزمات صلابة الأنبوب الأصغرية ليتحمّل عمليتي تداوله وتنصيبه، دون أي حرص مفرط أو تقوية له، من خلال الممارسة العملية والخبرة. حيث يُحدّد عامل المرونة الناتج FF مقاسات كل تركيب من وتيرة أو خطوات التمجج والثخانة المعدنية:

$$FF = \frac{D^2}{EI} \quad (11.5)$$

حيث:

E = معامل مرونة الفولاذ، Ksi (MPa) = 30,000 Ksi (206,850 MPa).

I = عزم عطالة الجدار، in^4/mm^4 .

يُوصى بالقيم الأعظمية التالية لـ FF من أجل التنصيبات العادية:

FF = 0.0433 من أجل أنبوب مُجمَّع في المصنع بقطر أقل من 12.00 إنش (30.48 cm) وبخطوط اتصال مبرشمة أو ملحومة أو متداخلة حلزونية (شرار).

FF = 0.0200 من أجل أنبوب مجمع في الحقل بقطر أكبر من 12.00 إنش (30.48 cm) وبخطوط اتصال بواسطة البراغي.

أما القيم الأكبر من ذلك، لـ FF، فيمكن استخدامها بنوع من الحذر أو وفق ما عليه التطبيق العملي. وتمثل حالة حفر الخنادق لتركيب المجاري الكبيرة، واحدة من تلك الحالات، وكذلك الأمر بالنسبة لاستخدام أنابيب الألمنيوم. فمثلاً، عامل المرونة المسموح لأنبوب الألمنيوم في بعض مواصفات الدول يزيد بمرتين عما هو موصى به هنا للفولاذ، لأن الألمنيوم يمتلك ثلث قساوة الفولاذ فقط، حيث عامل مرونة الألمنيوم 10.000 Ksi مقابل 30.000 Ksi للفولاذ.

وعندما يتم قبول درجة عالية من المرونة للألمنيوم، يكون من العدل قبولها بالنسبة للفولاذ.

اختبار خطوط الاتصال بواسطة البراغي

تكون خطوط الوصل النظامية للأنابيب المُجمَّعة في المصنع محققة من أجل جميع التصميمات عندما يقع الإجهاد المسموح الأعظمي للجدار قريباً من (113.8 MPa) 16.5 Ksi.

وعلى أي حال، تتم متابعة تقييم حالة خطوط الاتصال بوساطة البراغي في المصنع أو في الحقل بالاستناد على قيم التجارب الخاصة بالأعمدة اللامخنية واللامسنودة. فيجب أن يكون لخط الاتصال بالبراغي (النظامي من أجل الصفائح الإنشائية) مقاومة اختبار أكبر بمرتين من الحمولة التصميمية في جدار الأنبوب.

12

صيغ علم الهيدروليك
والمنشآت المائية

**Hydraulics and
Waterworks Formulas**

حتى يكون استخدام الصيغ في هذا الفصل بسيطاً، أُسرَدَ الجدول 12.1، الرموز والتسميات ونظام الوحدات المتبع في الولايات المتحدة (USCS) ونظام الوحدات الدولية (SI)، كل وفق تعابيريه.

الجدول 12.1 الرموز والتسميات والأبعاد والوحدات المستخدمة في هندسة المياه.

الرمز	التسمية	الأبعاد	الوحدات المستخدمة في الولايات المتحدة (USCS)	الوحدات الدولية (SI)
A	المساحة	L^2	ft^2	mm^2
C	أمثال خشونة تشيزي	$L^{1/2}/T$	$ft^{1/2}/s$	$m^{0.5}/s$
C_i	أمثال خشونة هازان وبيلامز	$L^{0.37}/T$	$ft^{0.37}/s$	$m^{0.37}/s$
d	العمق	L	ft	m
d_c	العمق الحرج	L	ft	m
D	القطر	L	ft	m
E	معامل المرونة	F/L^2	lb/in^2	MPa
F	القوة	F	lb	N
g	تسارع الجاذبية	L/T^2	ft/s^2	m/s^2
H	الحمولة الإجمالية، الحمولة على الهدّار	L	ft	m
h	الحمولة أو العمق المائي	L	ft	m
h_r	فقدان الحمولة الناشئ عن الاحتكاك	L	ft	m
L	الطول	L	ft	m
M	الكتلة	FT^2/L	$lb \cdot s^2/ft$	Ns^2/m
n	أمثال خشونة ماننغ	$T/L^{1/3}$	$s/ft^{1/3}$	$s/m^{1/3}$
P	طول محيط الهدّار، ارتفاع الهدّار	L	ft	m
P	القوة الناشئة عن الضغط	F	lb	N

الرمز	التسمية	الأبعاد	الوحدات المستخدمة في الولايات المتحدة (USCS)	الوحدات الدولية SI
p	الضغط	F/L^2	psf	MPa
Q	معدل التدفق	L^3/T	ft ³ /s	m ³ /s
q	معدل واحدة التدفق	$L^3/T.L$	ft ³ /(s.ft)	m ³ /s.m
r	نصف القطر	L	ft	m
R	نصف القطر الهيدروليكي	L	ft	m
T	الزمن	T	s	s
t	الزمن، السماكة	T, L	s, ft	s, m
V	السرعة	L/T	ft/s	m/s
W	الوزن	F	lb	kg
w	الوزن النوعي	F/L^3	lb/ft ³	kg/m ³
y	العمق في قناة مكشوفة، المسافة من الحد الصلب	L	ft	m
Z	الارتفاع عن المنسوب المرجعي	L	ft	m
ε	مقدار الخشونة	L	ft	m
μ	اللزوجة	FT/L^2	lb.s/ft	kg.s/m
ν	اللزوجة الحركية	L^2/T	ft ² /s	m ² /s
ρ	الكثافة	FT^2/L^4	lb.s ² /ft ⁴	kg.s ² /m ⁴
σ	الشد السطحي	F/L	lb/ft	kg/m
τ	إجهاد القص	F/L^2	lb/in ²	MPa

الجدول 12.1 /تابع/ الرموز والتسميات والأبعاد والوحدات المستخدمة في هندسة المياه.

الرمز	التسمية الإنكليزية	الأبعاد	الوحدات المستخدمة في الولايات المتحدة (USCS)	الوحدات الدولية SI
A	المساحة Area	L^2	ft^2	mm^2
C	أمثال خشونة تشيزي Chezy roughness coefficient	$L^{1/2}/T$	$ft^{1/2}/s$	$m^{0.5}/s$
C_1	أمثال خشونة هازان ويليامز Hazen-Williams roughness coefficient	$L^{0.37}/T$	$ft^{0.37}/s$	$m^{0.37}/s$
d	العمق Depth	L	ft	m
d_c	العمق الحرج Critical depth	L	ft	m
D	القطر Diameter	L	ft	m
E	معامل المرونة Modulus of elasticity	F/L^2	lb/in^2	MPa
F	القوة Force	F	lb	N
g	تسارع الجاذبية Acceleration due to gravity	L/T^2	ft/s^2	m/s^2
H	الحمولة الإجمالية، الحمولة على الهدار Total head, head on weir	L	ft	m
h	الحمولة أو العلو المائي Head or height	L	ft	m
h_f	فقدان الحمولة الناشئ عن الاحتكاك Head loss due to friction	L	ft	m
L	الطول Length	L	ft	m
M	الكتلة Mass	FT^2/L	$lb.s^2/ft$	Ns^2/m
n	أمثال خشونة ماننغ Manning's roughness coefficient	$T/L^{1/3}$	$s/ft^{1/3}$	$s/m^{1/3}$

الرمز	التسمية الإنكليزية	الأبعاد	الوحدات المستخدمة في الولايات المتحدة (USCS)	الوحدات الدولية SI
P	طول محيط الهدار، ارتفاع الهدار Perimeter, weir height	L	ft	m
P	القوة الناشئة عن الضغط Force due to pressure	F	lb	N
p	الضغط Pressure	F/L^2	psf	MPa
Q	معدل التدفق Flow rate	L^3/T	ft^3/s	m^3/s
q	معدل واحدة التدفق Unit flow rate	$L^3/T.L$	$ft^3/(s.ft)$	$m^3/s.m$
r	نصف القطر Radius	L	ft	m
R	نصف القطر الهيدروليكي Hydraulic radius	L	ft	m
T	الزمن Time	T	s	s
t	الزمن، السماكة Time, thickness	T, L	s, ft	s, m
V	السرعة Velocity	L/T	ft/s	m/s
W	الوزن Weight	F	lb	kg
w	الوزن النوعي Specific weight	F/L^3	lb/ft^3	kg/m^3
y	العمق في قناة مكشوفة، المسافة من الحد الصلب Depth in open channel, distance from solid boundary	L	ft	m
Z	الارتفاع عن المنسوب المرجعي Height above datum	L	ft	m
ϵ	مقدار الخشونة Size of roughness	L	ft	m
μ	اللزوجة Viscosity	FT/L^2	$lb.s/ft$	$kg.s/m$

الرمز	التسمية الإنكليزية	الأبعاد	الوحدات المستخدمة في الولايات المتحدة (USCS)	الوحدات الدولية SI
ν	اللزوجة الحركية Kinematic viscosity	L^2/T	ft^2/s	m^2/s
ρ	الكثافة Density	FT^3/L^4	$lb.s^2/ft^4$	$kg.s^2/m^4$
σ	الشّد السطحي Surface tension	F/L	lb/ft	kg/m
τ	إجهاد القص Shear stress	F/L^2	lb/in^2	MPa

* يُقصد باغذار عموم أنواع الخواجز أو السدود المائية. (المعدّ)

رموز الكميات اللا بعدية	
الرمز	الكمية
C	Weir coefficient, coefficient of discharge أمثال الهذّار، أمثال التصريف
C_c	Coefficient of contraction أمثال التضايق
C_v	Coefficient of velocity أمثال السرعة
F	Froude number عدد فرود
f	Darcy-Weisbach friction factor عامل احتكاك دارسي فايسباخ
K	Head-loss coefficient أمثال فقدان الحموله
R	Reynolds number عدد رينولدز
S	Friction slope - slope of energy grade line ميل الاحتكاك - ميل خط تدرّج القدرة
S_c	Critical slope الميل الحرج
η	Efficiency المردود
Sp. gr.	Specific gravity الجاذبية النوعية

Capillary Action

فعل الخاصّة الشعريّة

تنشأ الخاصة الشعرية عن كل من قوى التماسك بين جزيئات السائل وقوى التلاصق لجزيئات السائل. إذ أنها تتوضح بفرق ارتفاعي سطح السائل فيما بين داخل وخارج أنبوب صغير له نهاية واحدة غاطسة في السائل (الشكل 12.1) ويُعبّر عن خاصية الصعود الشعري عموماً بمقدار ارتفاع هذا الصعود. وذلك بمعادلة من الشكل:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{(w_1 - w_2)r}$$

حيث:

h = الصعود الشعري، (m).

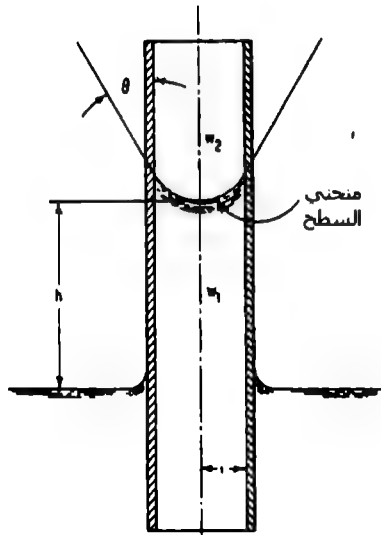
σ = الشد السطحي، (N/m).

w_1 و w_2 = الوزن النوعي للسائل أسفل وأعلى السطح المقعر، على التوالي، (N/m³).

θ = زاوية المماس

r = نصف قطر الأنبوب الشعري، (m).

يتناقض فعل الصعود الشعري - كما هو الحال في الشد السطحي - مع تزايد درجة الحرارة. ألا أن التغيرات الحرارية لهذه الخاصة تُعتبر في جميع الأحوال صغيرة وليس لها أي مدلول يذكر في معظم المسائل.



الشكل 12.1 فعل الصعود الشعري يرفع الماء في أنبوب ذي قطر صغير. منحني السطح أو سطح السائل يتقعر نحو الأعلى.

Viscosity

اللزوجة

لزوجة سائل، وتدعى أيضاً بأمثال اللزوجة أو باللزوجة المطلقة أو باللزوجة الديناميكية، هي قياس ممانعة هذا السائل للجريان. ويُعبّر عنها بنسبة إجهادات القص المماسية بين طبقات الجريان على معدل تغير السرعة مع العمق:

$$\mu = \frac{\tau}{dV/dy}$$

حيث:

$$\tau = \text{إجهاد القص، (N/m}^2\text{) lb/ft}^2\text{.}$$

$$V = \text{السرعة، ft/s (m/s)}.$$

$$y = \text{العمق، ft (m)}.$$

تتناقص اللزوجة بتزايد درجة الحرارة، إلا أنها قد تُعتبر مستقلة عن تغيرات الضغط في معظم المسائل الهندسية. لزوجة الماء عند 70°F (21.1°C) تساوي إلى $0.00002050 \text{ lb.s/ft}^2$ (0.00098 N.s/m^2).

تُعرّف اللزوجة الحركية ν بأنها اللزوجة μ مقسومةً على الكثافة ρ . وقد سُميت بذلك لأن واحدتها، ft^2/s (m^2/s)، ما هي إلا تركيباً من واحدة المسافة الحركية والزمن. اللزوجة الحركية للماء عند 70°F (21.1°C) تساوي إلى $0.000001 \text{ m}^2/\text{s}$ ($0.00001059 \text{ ft}^2/\text{s}$).

تواجه اللزوجة، في علم الهيدروليك، في معظم الأحيان أثناء حساب عدد رينولدز وذلك لتعيين إذا ما كان الجريان صفحياً أم انتقالياً أم جرياناً مضطرباً كلياً.

الضغط على السطوح المنحنية الغائصة تحت الماء

Pressure On Submerged Curved Surfaces

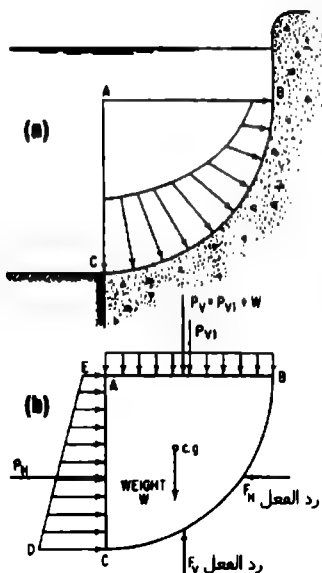
يُعطى الضغط الهيدروستاتيكي على سطح منحنٍ غائص (الشكل 12.2) بالعلاقة:

$$P = \sqrt{P_H^2 + P_V^2}$$

حيث: P = قوة الضغط الإجمالية على السطح.

P_H = القوة الناشئة عن الضغط الأفقي.

P_V = القوة الناشئة عن الضغط الرأسي.



الشكل 12.2 الضغط الهيدروستاتيكي على سطح منحني غائص. (a) تغير الضغط فوق السطح. (b) مخطط الجسم الحر (الطليق).

المبادئ الأساسية في جريان سائل

Fundamentals Of Fluid Flow

يتمثل قانون حفظ الطاقة، بما يخص طاقة سائل، بواسطة معادلة برنولي:

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g}$$

حيث:

Z_1 = الارتفاع عند أي نقطة (1) من السائل الجاري فوق سطح مرجعي لا على التعيين، (m) ft.

Z_2 = الارتفاع عند النقطة (2) باتجاه انحدار تيار السائل عن النقطة الأولى فوق نفس السطح المرجعي.

P_1 = الضغط عند النقطة (1)، (KPa) lb/ft².

P_2 = الضغط عند النقطة (2)، (KPa) lb/ft².

w = الوزن النوعي للسائل، (Kg/m³) lb/ft³.

V_1 = سرعة السائل عند النقطة (1)، (m/s) ft/s.

V_2 = سرعة السائل عند النقطة (2)، (m/s) ft/s.

g = تسارع الجاذبية، 32.2 ft/s² (9.81 m/s²).

يَجْمَعُ الطرف الأيسر من المعادلة الطاقة الإجمالية بوحدة الوزن للسائل عند النقطة (1). بينما يَجْمَعُ الطرف الأيمن الطاقة الإجمالية بوحدة الوزن عند النقطة (2). تطبق المعادلة السابقة فقط على السائل المثالي، حيث يتطلب تطبيقها العملي إضافة حد يُفسَّر تناقص الحمولة الإجمالية بسبب الاحتكاك (m) ft.

وعندما يُضاف هذا الحد h_f إلى طرف المعادلة الخاص باتجاه انحدار التيار، فإنه يعطي شكلاً مستخدماً على نطاق واسع لمعادلة برنولي:

$$Z_1 + \frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

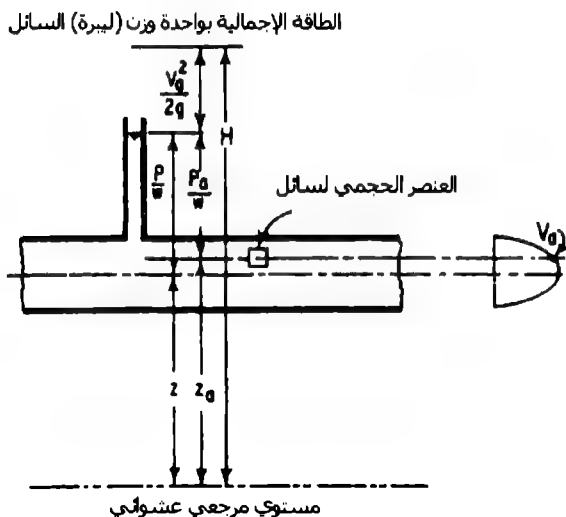
وهكذا، فإن الطاقة المتضمنة أو التي يحملها عنصر حجمي من سائل تكون تابعة لارتفاعه وسرعته وضغطه (الشكل 12.3). فالطاقة الناشئة عن الارتفاع هي الطاقة الكامنة وتساوي WZ_a ، حيث: W وزن السائل في الحجم العنصري، $(kg) lb$ ، و Z_a ارتفاع الحجم العنصري فوق سطح مرجعي لا على التعيين، $(m) ft$. والطاقة الناشئة عن السرعة هي الطاقة الحركية وتساوي $WV_a^2/2g$ ، حيث: V_a سرعة الحجم العنصري، $(m/s) ft/s$. أما الطاقة الناشئة عن الضغط (طاقة الضغط) فتساوي $W p_a/w$ ، حيث p_a الضغط، $(Kg/kPa) lb/ft^2$ و w الوزن النوعي للسائل، $(kg/m^3) lb/ft^3$. وتكون الطاقة الإجمالية في الحجم العنصري من سائل:

$$E = WZ_a + \frac{Wp_a}{w} + \frac{WV_a^2}{2g}$$

وبتقسيم طرفي المعادلة على W تنتج الطاقة بوحدة وزن السائل الجاري، أو الحمولة الإجمالية $(m) ft$:

$$H = Z_a + \frac{p_a}{w} + \frac{V_a^2}{2g}$$

يدعى الحد p_a/w حمولة الضغط، ويدعى الحد $V_a^2/2g$ حمولة السرعة.



الشكل 12.3. اعتماد الطاقة، في سائل، على الارتفاع والسرعة والضغط.

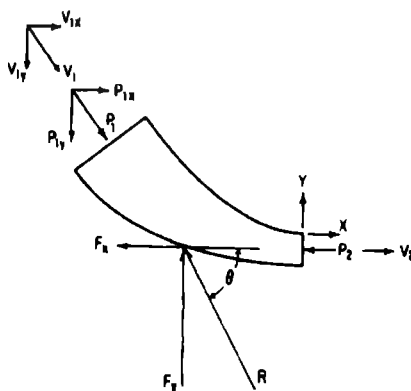
وفق ما هو مبين في الشكل 12.3 يكون المجموع $Z + p/w$ ثابتاً من أجل أي نقطة في مقطع عرضي وناظماً على اتجاه الجريان في أنبوب أو قناة. وعلى أي حال، تتغير القدرة الحركية في المقطع مع تغير السرعة. يؤخذ عادةً المجموع $Z + p/w$ في النقطة الوسطية والسرعة الوسطية من المقطع عندما تُطبق معادلة برنولي على الجريان عبر المقطع أو عندما يتوجب تعيين الحمولة الإجمالية. وتساوي السرعة الوسطية مقدرة بـ $(m/s) \text{ ft/s}$ إلى Q/A ، حيث: Q كمية الجريان المقدرة بـ $(m^3/s) \text{ ft}^3/s$ عبر مساحة المقطع A المقدرة بـ $(m^2) \text{ ft}^2$.

كمية الحركة هي المفهوم الأساسي الذي لا بد من اعتباره أمراً جوهرياً في تصميم جميع تمديدات الأعمال المائية التي تتضمن جريان سائل. إذ أن تغيراً في كمية الحركة، الذي قد ينتج من تغير في السرعة أو الاتجاه أو من تغير كمية الجريان،

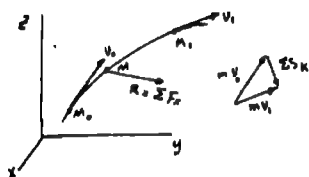
يساوي إلى دفع القوة، وهو القوة F الفاعلة في سائل مضروبة بالفترة الزمنية dt التي تفعل بها أو خلالها. (الشكل 12.4).

وتقسيم التغير الإجمالي في كمية الحركة على المجال الزمني الذي يحدث فيه التغير تنتج معادلة الحركة أو معادلة كمية الحركة - الدفع:

$$F_x = \rho Q \Delta V_x$$



الشكل 12.4 مخطط القوى الخاص بكمية الحركة.



* تُعطى علاقة دفع القوى في الميكانيك النظري بـ:

$$mv_1 - mv_0 = \sum_0^{t_1} \int F dt$$

ومكاملة الطرف الأيمن هو دفع القوة S خلال فترة زمنية محددة:

$$mv_1 - mv_0 = \sum S$$

وبيعني أن التغير في كمية حركة جزيئة خلال مجال زمني ما يساوي إلى مجموع دفع كل القوى الفاعلة على الجزيئة خلال ذلك المجال الزمني. (المعاد)

حيث:

F_x = مجموع كل القوى وفق الاتجاه X بوحدة الزمن التي تتسبب بتغيير كمية الحركة في الاتجاه X , $(N) lb$.

ρ = كثافة السائل الجاري، $lb.s^2/ft^4$ ($kg.s^2/m^4$) (الوزن النوعي مقسوماً على g).

Q = معدل الجريان، $(m^3/s) ft^3/s$ ، (التدفق).

ΔV_x = التغير في السرعة وفق الاتجاه X ، $(m/s) ft/s$.

ويمكن كتابة المعادلات المشابهة بما يخص الاتجاهين Y و Z .

غالباً ما يتم استخدام معادلة كمية الحركة - الدفع بالتوافق مع معادلة برنولي، كما يمكن استخدامها بمفردها.

المماثلة (المقارنة) بالنماذج الفيزيائية

Similitude For Physical Models

النموذج الفيزيائي (الموديل) هو النظام الذي يمكن استخدام عملية تشغيله في تكهن الصفات المميزة لنظام مشابه أو لمنشأة بدائية تكون عادةً أكثر تعقيداً أو مبنية بمقياس أكبر بكثير من ذلك النموذج.

تُعيّن نسب قوة الجاذبية وقوة اللزوجة وقوة الشد السطحي، إلى قوة العطالة، عدد فرود وعدد رينولدز وعدد وير على التوالي. وبمساواة عدد فرود للنموذج مع عدد فرود للمنشأة البدائية يتم التأكد من أن قوتي التحاذب والعطالة من نفس التناسب. وعلى نحو مشابه، بمساواة عدد رينولدز للنموذج مع عدد رينولدز للمنشأة البدائية يتم التأكد من أن قوتي اللزوجة والعطالة تناسبتان. وكذلك الأمر، بمساواة عددي وير (لنموذج والمنشأة البدائية) يتم التأكد من تناسبية قوتي الشد السطحي والعطالة.

يعطى عدد فرود — Froude — بـ:

$$F = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

حيث:

F = عدد فرود (لا بعدي).

V = سرعة السائل، ft/s (m/s).

L = البعد الخطي أو الطولي (خاصة مميزة (معياري) للعمق أو للقطر مثلاً) ft (m).

g = تسارع الجاذبية، 32.2 ft/s² (9.81 m/s²).

وتكون القوتان السائدتان في المنشآت الهيدروليكية مثل المهارات والمفيضات - حيث يوجد تغير مفاجئ في المقطع الجانبي من السطح المائي - هما قوتا العطالة والجاذبية. لهذا السبب يكون عددا فرود للنموذج والمنشأة البدائية متساويين:

$$\frac{V_m}{\sqrt{L_m g}} = \frac{V_p}{\sqrt{L_p g}} \quad \Leftarrow \quad F_m = F_p$$

حيث يُطبق الدليل السفلي m على النموذج ويُطبق الدليل السفلي p على المنشأة البدائية.

يعطى عدد رينولدز - Reynolds - بـ:

$$R = \frac{VL}{\nu}$$

حيث:

R = عدد رينولدز (لا بعدي).

ν = اللزوجة الحركية للسائل، ft²/s (m²/s).

ويكون عددا رينولدز للنموذج والمنشأة البدائية متساويين عندما تكون قوتا اللزوجة والعلالة هما المسيطران. وتكون عادةً قوى اللزوجة هي المسيطرة عندما يحدث الجريان في نظام مغلق مثل الجريان الأنبوبي حيث ليس هناك سطح حر. يتم الحصول على المعادلات التالية بمساواة عددي رينولدز للنموذج والمنشأة البدائية:

$$\frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_p L_p}{\nu_p} \quad ; \quad V_r = \frac{\nu_r}{L_r}$$

العاملان المتحولان اللذان يُثبتان تصميمًا لنموذج واقعي، عندما يكون عدد رينولدز متحكمًا بالأمر، هما النسبة الطولية ونسبة اللزوجة (بين النموذج والمنشأة البدائية).
يُعطى عدد وير - weber - بـ:

$$W = \frac{V^2 L \rho}{\sigma}$$

حيث:

ρ = كثافة السائل، $\text{lb.s}^2/\text{ft}^4$ ، $(\text{kg.s}^2/\text{m}^4)$ (الوزن النوعي مقسوماً على g).

σ = الشد السطحي للسائل، lb/ft^2 ، (KPa) .

ويتساوى عددا وير للنموذج والمنشأة البدائية في نماذج معينة من دراسات الأمواج.

غالباً ما يعتمد تصميم النماذج، بما يخص جريان المياه في الأقية المكشوفة والأنهار حيث يكون ميل سطح الاحتكاك مُنبسطاً (أفقياً) نسبياً، على معادلة مانينغ - Manning equation.

فيتم تعيين العلاقة بين النموذج والمنشأة البدائية وفق ما يلي:

$$\frac{V_m}{V_p} = \frac{(1.486 / n_m) R_m^{2/3} S_m^{1/2}}{(1.486 / n_p) R_p^{2/3} S_p^{1/2}}$$

حيث:

n = أمثال خشونة مانينغ ($T/L^{1/3}$ ، T تمثل الزمن).

R = نصف القطر الهيدروليكي (L).

S = ضياع أو فقدان الحمولة الناشئ عن الاحتكاك بوحدة الطول من الناقل المائي (لا بعدي).

وفي النماذج الواقعية يكون:

$$S_r = 1, R_r = L_r$$

وبالتالي:

$$V_r = \frac{L_r^{2/3}}{n_r}$$

ويكون من الضروري في نماذج الأنهار والأقنية المكشوفة أن يؤخذ الجريان مضطرباً.

وقد حددت محطة تجارب المسارات المائية* في الولايات المتحدة أن الجريان يكون مضطرباً إذا كان:

$$\frac{VR}{v} \geq 4000$$

حيث:

V = السرعة الوسطية، ft/s (m/s).

R = نصف القطر الهيدروليكي، ft (m).

v = اللزوجة الحركية، ft^2/s (m^2/s).

* المقصود بالمسارات المائية أي مجرى أو مسار يحمل الماء. Waterways. (المعد).

إلا أنه إذا كان النموذج نموذجاً واقعياً، فقد يحدث ألا يكون اقتصادياً بما يخص الجريان المضطرب¹¹.

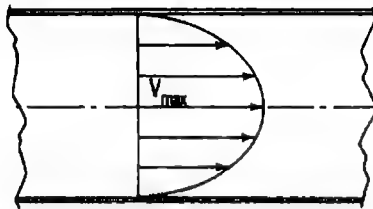
Fluid Flow In Pipes

جريان سائل في أنبوب.

الجريان الصفحي

تتحرك جزيئات السائل، في الجريان الصفحي، على شكل طبقات متوازية باتجاه واحد.

يخلق منحنى توزيع السرعة الذي له شكل قطع مكافئ، والموضح في الشكل 12.5، إجهاداً قصياً τ يُعطى بالعلاقة: $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$ ، حيث: dv/dy معدل تغير السرعة مع العمق. ولم أمثال اللزوجة. ومع تزايد إجهاد القص هذا، تغدو قوى اللزوجة غير قادرة على إخماد الاضطرابات والقلقل في السائل، مما يؤدي إلى حدوث جريان مضطرب. وتعتمد منطقة تحول الجريان على سرعة السائل وكثافته ولزوجته وكذا على قياس ناقل السائل.



الشكل 12.5 شكل توزيع السرعة في الجريان الصفحي هو منحنى قطع مكافئ في أنبوب ذي مقطع دائري. السرعة العظمى أكبر بمرتين من السرعة الوسطية.

¹¹ النموذج الواقعي هو النموذج المطابق تماماً للحالة الواقعية. (المُعَد).

الوسيط اللابعدى المسمى بعدد رينولدز قد تمَّ إيجاده ليكون معياراً موثقاً في تحديد إذا ما كان الجريان صفحياً أم مضطرباً. وهو نسبة قوى العطالة على قوى اللزوجة، ويُعطى بالعلاقة:

$$R = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

حيث:

V = سرعة السائل، (m/s) ft/s.

D = قطر الأنبوب، (m) ft.

ρ = كثافة السائل، (kg.s²/m⁴) lb.s²/ft⁴ (الوزن النوعي مقسوماً على g، 32.2 ft/s²).

μ = لزوجة السائل، (kg.s/m²) lb.s/ft².

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ = اللزوجة الحركية، (m²/s) ft²/s.

ويكون الجريان في الأنابيب الدائرية صفحياً إذا كان عدد رينولدز أقل من 2000.

أما عندما يكون عدد رينولدز أكبر من 2000 فإن الجريان الصفحي يصير قلقاً وحدوث قلق وفوضى في السائل أكبر من ذلك، سيؤدي بالجريان لأن يكون مضطرباً.

يمكن أن تتوضح المعادلة اللاحقة، المتعلقة بضياح الحمولة الناشئة عن الاحتكاك في الجريان الصفحي، بأخذ القوى الفاعلة على اسطوانة من السائل ضمن الأنبوب:

$$h_f = \frac{32\mu LV}{D^2 \rho g} = \frac{32\mu LV}{D^2 w}$$

حيث:

h_f = ضياح الحمولة بسبب الاحتكاك، (m) ft.

L = طول المقطع في الأنبوب المعتبر، (m) ft.

g = تسارع الجاذبية، 32.2 ft/s^2 (9.81 m/s^2).

w = الوزن النوعي للسائل، lb/ft^3 (Kg/m^3)

وبتعويض عدد رينولدز ينتج:

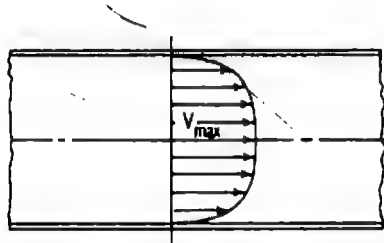
$$h_f = \frac{64}{R} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

تتطابق المعادلة السابقة في الجريان الصفحي مع صيغة دارسي - فايسباخ (Darcy - Weisbach) وذلك لأنه في الجريان الصفحي يساوي الاحتكاك؛

$$f = \frac{64}{R}$$

الجريان المضطرب

تغزو قوى العطالة في الجريان المضطرب كبيرة جداً إلى حد لا تستطيع فيه قوى اللزوجة إخماد الاضطرابات الناشئة أساساً عن خشونة السطح. وتخلق هذه الاضطرابات دوامات لها سرعة دورانية وأخرى انتقالية. ويقوم انتقال هذه الدوامات بفعل المزج الذي ينتج تبادلاً في كمية الحركة عبر المقطع العرضي للنقل. وبالمحصلة، يكون توزيع السرعة أكثر انتظاماً وفق ما هو موضح في الشكل 12.6.



الشكل 12.6 توزيع السرعة في الجريان المضطرب ضمن أنبوب دائري يكون أكثر انتظاماً تقريباً من ذلك التوزيع في الجريان الصفحي.

لقد يَبْنَت التجارب على الجريان المضطرب أن:

- تَغْيَر ضياع الحمولة مرتبط مباشرة مع تَغْيَر طول الأنبوب.
- تَغْيَر ضياع الحمولة متعلق على الأغلب مع تَغْيَر مربع السرعة.
- تَغْيَر ضياع الحمولة متعلق على الأغلب عكساً مع تَغْيَر نصف القطر.
- يعتمد ضياع الحمولة على خشونة سطح جدار الأنبوب.
- يعتمد ضياع الحمولة على كثافة السائل ولزوجته.
- ضياع الحمولة مستقل عن الضغط.

Darcy-Weisbach Formula

صيغة دارسي - فايسباخ

إن إحدى أكثر المعادلات استخداماً في جريان السوائل ضمن الأنابيب هي صيغة دارسي - فايسباخ التي تحقق الشرط المحدد في المقطع السابق وتكون قابلة للتطبيق على الجريان الصفحي والمضطرب في جميع أنواع السوائل:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

حيث:

h_f = ضياع الحمولة الناتج عن الاحتكاك، ft (m).

f = عامل الاحتكاك (راجع أي كتاب هندسي مساعد).

L = طول الأنبوب، ft (m).

D = قطر الأنبوب، ft (m).

V = سرعة السائل، ft/s (m/s).

$g = \text{تسارع الجاذبية، } 32.2 \text{ ft/s}^2 \text{ (} 9.81 \text{ m/s}^2 \text{)}.$

وتستخدم العلاقة السابقة مخطط الـ Moody لحساب قيمة عامل الاحتكاك f .

(Moody, L. F.) "عوامل احتكاك الجريان الأنبوبي" محاضر اجتماع الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين، تشرين الثاني 1944.)

(Moody, L. F., "Friction Factors for Pipe Flow," Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, November 1944.)

وبما أن المعادلة السابقة متجانسة بعدياً، فيمكن استخدامها مع أي مجموعة أخرى متجانسة من الواحدات دون تغيير قيمة عامل الاحتكاك.

قيم الخشونة E ، المقدرة بـ ft (m) ، والمتعلقة باستخدام مخطط الـ Moody لتعيين عامل احتكاك دارسي - فاييساخ، تم سردها في المراجع الهندسية المساعدة.

الصيغ اللاحقة أشتقت من أجل فقدان الحمولة في تصاميم الأعمال المائية، وهي تعطي نتائجاً حسنة بما يخص حسابات شبكات نقل وتوزيع المياه.

فهي تتضمن العامل الذي يعتمد على خشونة السطح لمادة الأنبوب. وتتأثر دقة هذه الصيغ كثيراً بانتقاء عامل الخشونة الذي يتطلب مهارة وخبرة في اختياره.

Chezy Formula

صيغة تشزي

تتحقق هذه المعادلة من أجل فقدان الحمولة في الأقنية، وتعطي نتائجاً جيدة ومنطقية بالنسبة لأعداد رينولدز الكبيرة:

$$V = C\sqrt{RS}$$

حيث:

$V = \text{السرعة، } \text{ft/s (m/s)}.$

C = أمثال، يعتمد على خشونة سطح القناة.

S = ميل خط تدرج القدرة، أو ضياع الحمولة الناتج عن الاحتكاك في القناة، (m/m) ft/ft.

R = نصف القطر الهيدروليكي، (m) ft.

نصف القطر الهيدروليكي للناقل هو مساحة المقطع العرضي للسائل الموجود فيه مقسوماً على طول المحيط المبلول من المقطع.

Manning's Formula

صيغة مانينغ

استنتج مانينغ من خلال التجارب أن C في معادلة تشيزي يجب أن تتغير عند $R^{1/6}$:

$$C = \frac{1.486R^{1/6}}{n}$$

حيث:

n = أمثال، يعتمد على خشونة السطح. (رغم اعتماده على خشونة السطح، إلا أن n يُعامل في بعض التطبيقات كوسيط مُجمّع لكل ضياعات الحمولة).

بتعويض قيمة C هذه في صيغة تشيزي السابقة:

$$V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

وباستبدال المقدار $\frac{D}{4}$ بنصف القطر الهيدروليكي للأنبوب يتم الحصول على المعادلات التالية الخاصة بالجريان الأنبوبي المليء، حيث D قطر الأنبوب:

$$V = \frac{0.590}{n} D^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q = \frac{0.463}{n} D^{8/3} S^{1/2}$$

$$h_f = 4.66n^2 \frac{LQ^2}{D^{16/3}}$$

$$D = \left(\frac{2.159Qn}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

حيث:

Q = كمية الجريان (التدفق)، (m^3/s) أو (ft^3/s) .

Hazen - Williams Formula

صيغة هازن - ويليامز

تُعتبر هذه الصيغة واحدة من أكثر الصيغ استخداماً في حسابات الجريان الأنبوبي في مصالح خدمات المياه، بالرغم من أنها قد طورت أصلاً لكي تُستخدم في كل من الجريان في الأقنية المكشوفة وفي الأنابيب أيضاً:

$$V = 1.318C_1 R^{0.63} S^{0.54}$$

وبما ينحصر الجريان الأنبوبي المليء:

$$V = 0.55C_1 D^{0.63} S^{0.54}$$

$$Q = 0.432C_1 D^{2.63} S^{0.54}$$

$$h_f = \frac{4.727}{D^{4.87}} L \left(\frac{Q}{C_1} \right)^{1.85}$$

$$D = \frac{1.376}{S^{0.205}} \left(\frac{Q}{C_1} \right)^{0.38}$$

حيث:

$$V = \text{السرعة، ft/s (m/s)}.$$

$$C_1 = \text{أمثال، يعتمد على خشونة السطح (يُعطى في المراجع الهندسية المساعدة)}.$$

$$R = \text{نصف القطر الهيدروليكي، ft (m)}.$$

$$S = \text{ضياح الحمولة الناتج عن الاحتكاك في الأنبوب، ft/ft (m/m)}.$$

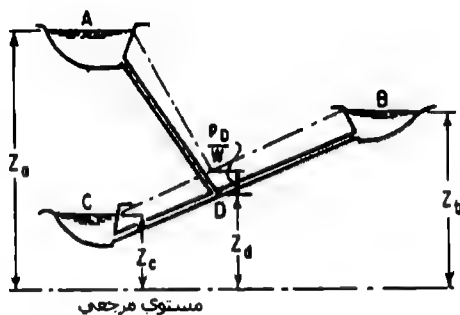
$$D = \text{قطر الأنبوب، ft (m)}.$$

$$L = \text{طول الأنبوب، ft (m)}.$$

$$Q = \text{كمية التصريف (التدفق)، ft³/s (m³/s)}.$$

$$h_f = \text{الضياح بالاحتكاك، ft (m)}.$$

يوضح الشكل 12.7 مسألة ثلاثية الأحواض نموذجية. تتساوى ارتفاعات خطوط التدرج الهيدروليكي للأنابيب الثلاثة عند النقطة D. ويمكن كتابة معادلة هازن-ويليامز للضياح بالاحتكاك من أجل كل أنبوب عند نقطة الالتقاء D.



الشكل 12.7 الجريان فيما بين الأحواض

وبمساعدة معادلة الاستمرار الخاصة بكمية الجريان، يوجد هنالك معادلات بقدر ما يوجد من مجاهيل:

$$Z_a = Z_d + \frac{p_D}{w} + \frac{4.727L_A}{D_A^{4.87}} \left(\frac{Q_A}{C_A} \right)^{1.85}$$

$$Z_b = Z_d + \frac{p_D}{w} + \frac{4.727L_B}{D_B^{4.87}} \left(\frac{Q_B}{C_B} \right)^{1.85}$$

$$Z_c = Z_d + \frac{p_C}{w} + \frac{4.727L_C}{D_C^{4.87}} \left(\frac{Q_C}{C_C} \right)^{1.85}$$

$$Q_A + Q_B = Q_C$$

حيث:

p_D = الضغط عند D؛ w = واحدة الوزن للسائل.

تغيرات الضغط (الحمولة) بسبب تغير قياس الأنابيب

Pressure (Head) Changes Caused By Pipe Size Change

تحدث ضياعات الطاقة في تضايقات الأنابيب والإنشاءات والتوسعات وفي السكور ووصلات الأنابيب الأخرى أيضاً. ويمكن لهذه الضياعات أن تُحذف عادةً في حال كان الخط الأنوبي أكبر من قطر الأنبوب بـ 1500 مرة.

وعلى أي حال، لا بد من أخذ الضياعات الثانوية في الحسبان في خطوط الأنابيب القصيرة، لأن هذه الضياعات قد تتجاوز ضياعات الاحتكاك.

التوسعات الفجائية

المعادلة اللاحقة، الخاصة بضياع الحملية عبر التوسع المفاجئ في قطر الأنبوب، تمّ تعيينها بطريقة تحليلية وهي تتوافق تماماً مع النتائج التجريبية:

$$h_L = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

حيث:

V_1 = السرعة قبل التوسّع، ft/s (m/s).

V_2 = السرعة بعد التوسّع، ft/s (m/s).

g = تسارع الجاذبية، 32.2 ft/s² (9.81 m/s²).

لقد كان اشتقاقها عن طريق تطبيق معادلة برنولي ومعادلة كمية الحركة عبر توسع ما.

المعادلة الأخرى الخاصة بضياح الحمولة بسبب التوسعات المفاجئة تمّ تعيينها تجريبياً من قبل آركر (Archer). وتعطي هذه المعادلة توافقاً أفضل بقليل مع النتائج التجريبية مما تعطيه المعادلة السابقة:

$$h_L = \frac{1.1(V_1 - V_2)^{1.92}}{2g}$$

تطبّق المعادلتان السابقتان على نحو خاص في حالة التصريف من أنبوب إلى حوض. حيث لا يكون للماء سرعة في الحوض، مما يعني فقدان أو ضياح حمولة السرعة بمحملها.

التوسعات التدريجية

تأخذ معادلة ضياح الحمولة الناتجة عن التوسع التدريجي المخروطي لأنبوب الشكل التالي:

$$h_L = \frac{K(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

حيث:

K = أمثال الضياع، وفق ما يُعطى في الكتب الهندسية المساعدة.

التضاييق المفاجئ

لقد تم تعيين المعادلة التالية لضياع الحمولة عبر التضاييق المفاجئ لأنبوب بواسطة نفس نموذج الدراسات التحليلية بـ:

$$h_L = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \frac{V^2}{2g}$$

حيث:

C_c = أمثال التضاييق.

V = السرعة في الأنبوب ذي القطر الأصغر، ft/s (m/s).

وتعطي هذه المعادلة أفضل النتائج في حال كان ضياع الحمولة أكبر من 1 ft (0.3 m).

الصيغة الأخرى المتعلقة بتحديد فقدان الحمولة بسبب التضاييق المفاجئ، تمّ تعيينها تجريبياً من قبل برايتمور (Brightmore) بـ:

$$h_L = \frac{0.7(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

وتعطي هذه المعادلة أفضل النتائج إذا كان ضياع الحمولة أقل من 1 ft (0.3 m).

الحالة الخاصة لضياع التضاييق المفاجئ هي حالة ضياع الدخول إلى الأنابيب. وقد تمّ سرد بعض القيم النموذجية لأمثال الضياع K ، في العلاقة $h_L = K V^2/2g$ ، في المراجع الهندسية المساعدة. حيث V سرعة السائل في الأنبوب.

ضیاعات الإنشاءات والوصلات النظامية

يُعطى ضیاع الحمولة الذي يحدث في وصلات الأنابيب مثل السكور والأكواع وعند مواضع الإنشاء بـ:

$$h_L = \frac{KV^2}{2g}$$

وللحصول على الضیاعات في الإنشاءات باستثناء الإنشاء 90° يمكن استخدام الصيغة التالية لتعديل قيم K:

$$K' = K\sqrt{\frac{\Delta}{90}}$$

حيث:

Δ = زاوية الانحراف أو الإنشاء بالدرجات.

تُعطى قيم K عادة في الكتب الهندسية المساعدة.

Flow Through Orifices

الجريان من خلال الفُوهات

الفُوهة هي فتحة ذات محيط مغلق يجري من خلالها الماء. ويمكن للفوهات أن تأخذ أي شكل بالرغم من أنها تكون عادةً دائرية أو مربعة أو مستطيلة.

تصريف الفوهة إلى الهواء الحر

يمكن أن يُحسب التصريف (التدفق) من خلال فوهة حادة الحواف من العلاقة:

$$Q = Ca\sqrt{2gh}$$

حيث:

Q = التدفق، ft^3/s ، m^3/s .

C = أمثال التدفق.

a = مساحة الفوهة، ft/s^2 (m^2).

g = تسارع الجاذبية، ft/s^2 (m/s^2).

h = الحمولة فوق الخط المركزي الأفقي للفوهة، ft (m).

تُعطى أمثال التصريف C في المراجع الهندسية المساعدة من أجل سرعة خروج منخفضة. أمّا في حال كان لهذه السرعة قيمة ذات مدلول (كبيرة إلى حد ما) فيجب أن يؤخذ تأثيرها في الحسبان.

إن الصيغة السابقة قابلة للتطبيق من أجل أي حمولة يكون من أجلها أمثال التصريف معلوماً. ففي حالة الحمولات المنخفضة، لا يكون قياس الحمولة من خط مركز الفوهة صحيحاً نظرياً. إلا أن هذا الخطأ يُصحح بواسطة قيم C بطبيعة الحال.

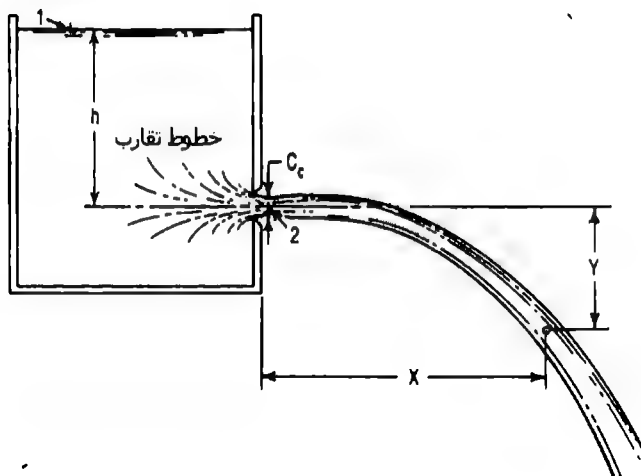
يساوي أمثال التصريف C إلى جداء أمثال السرعة C_v بأمثال التضايق C_c .

وأمثال السرعة C_v هو النسبة التي يتم الحصول عليها بتقسيم السرعة الفعلية عند نقطة تضايق النافورة (ظاهرة اختناق أو انكماش النفث المُصرّف) على السرعة النظرية. ويمكن حساب السرعة النظرية عن طريق كتابة معادلة برنولي عند النقطتين (1) و(2) المبينتين في الشكل 12.8.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{w} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} + Z_2$$

وبأخذ المستوي المرجعي ماراً من النقطة (2)، نصير:

$$Z_1 = h; V_1 = 0; p_1/w = p_2/w = 0; Z_2 = 0$$



الشكل 12.8. نافورة السائل تأخذ مسار قطع مكافئ.

وتصبح المعادلة السابقة:

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

أمثال التضايق C_c هو نسبة المساحة الأصغر من النافورة (منطقة الانكماش) على مساحة الفوهة. يحدث تضايق نفث السائل إذا كانت الفوهة حادة الحواف وواقعة في مكان تصنع فيه خطوط تقارب خروج السائل من الفوهة زاوية ما مع اتجاه الجريان من خلال الفوهة (انظر الشكل 12.8).

الفوهات الغائصة

يمكن أن يُحسب الجريان من خلال الفوهة الغائصة بتطبيق معادلة برنولي على النقطتين (1) و (2) في الشكل 12.9.

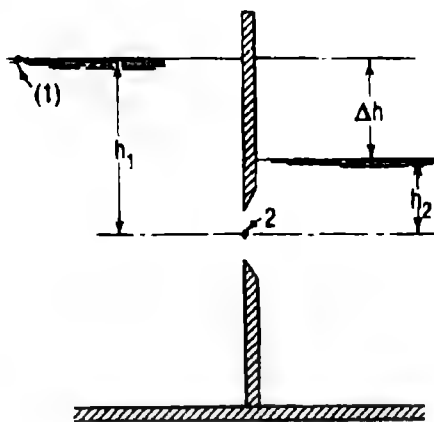
$$V_2 = \sqrt{2g \left(h_1 - h_2 + \frac{V_1^2}{2g} - h_L \right)}$$

حيث:

h_L = ضياعات الحمولة بين النقطتين (1) و(2)، (m) ft.

وبافتراض أن $V_1 = 0$ ، وبوضع: $h_1 - h_2 = \Delta h$ ، وباستخدام أمثال التصريف C لتبيين الضياعات، عند ذلك يتم الحصول على المعادلة التالية:

$$Q = Ca\sqrt{2g\Delta h}$$



الشكل 12.9 التدفق من خلال فوهة غائصة.

لا تختلف قيم C الخاصة بالفوهات الغائصة كثيراً عن تلك العائدة للفوهات اللاغائصة.

التصريف تحت ظرف هبوط الحمولة

يُمثل الجريان من حوض أو إناء، عندما يكون الجريان الداخل أقل من الجريان الخارج، حالة هبوط الحمولة. ويمكن أن يُحسب الزمن المطلوب لدفق كمية معينة من الماء من الحوض بمساواة حجم الماء الذي يخرج من خلال الفوهة أو الأنبوب مع حجم التناقص في الحوض خلال الزمن dt . فإذا كانت مساحة الحوض ثابتة يمكن كتابة:

$$t = \frac{2A}{Ca\sqrt{2g}} (\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})$$

حيث:

h_1 = الحمولة عند البداية، ft (m).

h_2 = الحمولة عند النهاية، ft (m).

A = مساحة الحوض الثابتة، ft^2 (m^2).

t = المجال الزمني لهبوط الحمولة من h_1 إلى h_2 ، S.

Fluid Jets

نوافير السوائل

يتبع خط دفق سائل من خلال فوهة إلى الهواء مسار قديفة، على اعتبار أن تأثير ممانعة الهواء صغير. وتساوي السرعة الابتدائية لدفق السائل من النافورة إلى:

$$V_o = C_v \sqrt{2gh}$$

حيث:

h = الحمولة فوق خط مركز الفوهة، ft (m).

C_v = أمثال السرعة.

يعتمد اتجاه السرعة الابتدائية على وجهة السطح الذي تقع فيه الفوهة.

وبغرض التبسيط، تم تعيين المعادلات التالية بافتراض أن الفوهة واقعة في سطح شاقولي (انظر الشكل 12.8). فتظل سرعة دفق السائل في الاتجاه X (الاتجاه الأفقي) ثابتة:

$$V_x = V_o = C_v \sqrt{2gh}$$

وتكون السرعة الابتدائية في الاتجاه Y مساوية للصفر، وفيما بعد تصبح تابعة للزمن ولتسارع الجاذبية:

$$V_y = gt$$

تساوي المسافة باتجاه الإحداثي X عند اللحظة t إلى:

$$X = V_x t = t C_v \sqrt{2gh}$$

وتساوي المسافة باتجاه الإحداثي Y إلى:

$$Y = V_{avg} t = \frac{gt^2}{2}$$

حيث:

$$V_{avg} = \text{السرعة الوسطية على امتداد الفترة الزمنية } t.$$

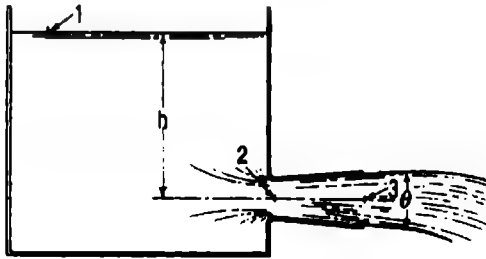
معادلة مسار نفث أو دفق السائل:

$$X^2 = C_v^2 4hy$$

دفق فوهة ضمن أنابيب مخروطية متباعدة

Orifice Discharge Into Diverging Conical Tubes

يمكن لهذا النوع من الأنابيب أن يزيد بصورة كبيرة الجريان من خلال الفوهة عن طريق تخفيض الضغط الجوي على الفوهة الواقعة تحت تأثيره.



الشكل 12.10 أنبوب مخروطي متباعد يزيد الجريان من الخوض من خلال فوهة بتخفيض الضغط الجوي عليها.

الصيغة التي تُتبع لحساب الضغط عند نقطة الدخول إلى الأنبوب يتم الحصول عليها بكتابة معادلة برنولي عند النقطتين (1) و(3) وكذلك عند النقطتين (1) و(2) وفق ما هو واضح في الشكل 12.10:

$$p_2 = wh \left[1 - \left(\frac{a_3}{a_2} \right)^2 \right]$$

حيث:

p_2 = الضغط المُقاس المُعاير للضغط الجوي في مدخل الأنبوب، (Pa) lb/ft².

w = وزن واحدة الحجم الماء، (kg/m³) lb/ft³.

h = الحمولة فوق خط مركز الفوهة، (m) ft.

a_2 = مساحة أصغر جزء من النافورة (مساحة منطقة التضايق إن وجدت)، ft^2 (m^2).

a_1 = مساحة دفع نهاية الأنبوب، ft^2 (m^2).

ويحسب التدفق أيضاً بكتابة معادلة برنولي عند النقطتين (1) و(3) الموضحتين في الشكل 12.10.

لكي تكون عملية الحساب التحليلية هذه محققة (صحيحة) يجب أن يكون الأنبوب تام الجريان (مقطعه مليء) ويجب ألا يهبط الضغط في منطقة اختناق (تضايق) الأنبوب عن ضغط بخار الماء. وتوضح التجارب بأنبوب الفنتوري (Venturi) أن الزاوية الأكثر فاعلية θ تكون قريبة من 5° .

المطرقة المائية (الصدمة الهيدروليكية) Water Hammer

المطرقة المائية إن هي إلا تغيراً في الضغط يفوق أو يقل عن الضغط الطبيعي، سببه تغير مُعدّل الجريان في الأنبوب.

تساوي معادلة سرعة موجة في أنبوب إلى:

$$U = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1}{1 + ED/E_{pt}}}$$

حيث:

U = سرعة موجة الضغط على امتداد الأنبوب، ft/s (m/s).

E = معامل مرونة الماء، $43.2 \times 10^6 \text{ lb/ft}^2$ ($2.07 \times 10^6 \text{ kPa}$).

ρ = كثافة الماء (الوزن النوعي مقسوماً على تسارع الجاذبية) 1.94 lb.s/ft^4 .

D = قطر الأنبوب، ft (m).

E_p = معامل مرونة مادة الأنبوب، $(\text{kg/m}^2) \text{ lb/ft}^2$.

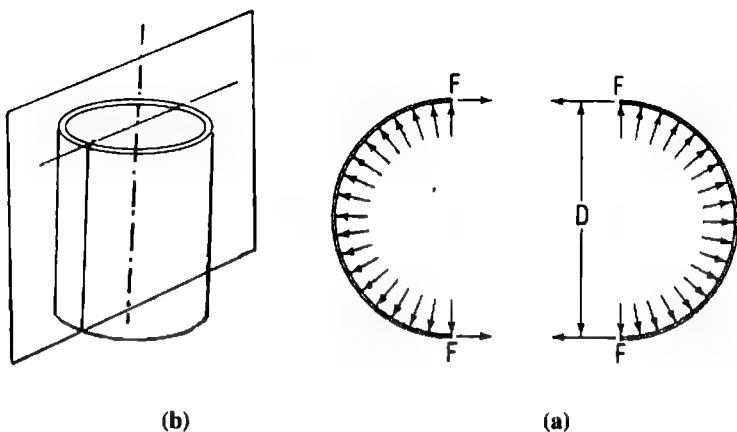
t = ثخانة جدار الأنبوب، $(\text{m}) \text{ ft}$.

إجهادات الأنابيب العمودية على المحور الطولاني

Pipe Stresses Perpendicular To The Longitudinal Axis

الإجهادات الفاعلة عمودياً على محور طولاني لأنبوب سببها إما الضغوط الداخلية أو الخارجية على جدران الأنابيب.

يخلق الضغط الداخلي إجهاداً يدعى عموماً بالشد الحلقي. ويمكن حسابه بأخذ مخطط الجسم الطابق لقطعة طولها 1 in (25.4 mm) من أنبوب مقطوع بمستوي شاقولي مار من المحور الطولاني (الشكل 12.11).



الشكل 12.11 (a) يعطي ضغط الأنبوب الداخلي شداً حلقياً.

(b) أنبوب طولاه 1 in مقطوع بمستوي شاقولي مار من المحور الطولاني

وبعد أن تُستبعد القوى في الاتجاه الشاقولي، يكون مجموع القوى في الاتجاه الأفقي مساوياً إلى:

$$p D = 2 F$$

حيث:

$$p = \text{الضغط الداخلي، (MPa) lb/in}^2$$

$$D = \text{القطر الخارجي للأنبوب، (mm) in}$$

$$F = \text{القوة الفاعلة على كل حافة مقطوعة من الأنبوب.}$$

إذن، يكون الإجهاد المطبق على مادة الأنبوب، مقدراً بـ lb/in^2 ، مساوياً إلى:

$$f = \frac{F}{A} = \frac{pD}{2t}$$

حيث:

$$A = \text{مساحة الحافة المقطوعة من الأنبوب، (m}^2\text{) ft}^2, (A = l \text{ in} \times t = t)$$

$$t = \text{ثخانة جدار الأنبوب، (mm) in}$$

تمدد الأنبوب الناتج عن الفروقات الحرارية

Temperature Expansion Of Pipe

إذا كان الأنبوب خاضعاً لمدى تتراوح فيه فروقات كبيرة لدرجة الحرارة، فإن الإجهاد الناشئ عن تغير درجة الحرارة، المقدّر بـ (MPa) lb/in^2 ، يُعطى بـ:

$$f = c E \Delta T$$

حيث:

$$E = \text{معامل مرونة مادة الأنبوب، (MPa) lb/in}^2$$

ΔT = الفارق في درجة الحرارة عن درجة حرارة تركيب الأنبوب.

c = أمثال التمدد الحراري لمادة الأنبوب.

مسافة التحرك التي يجب أن يتم السماح بها، إذا ما كانت فواصل التمدد مستخدمة، هي:

$$\Delta L = L c \Delta T$$

حيث:

ΔL = مسافة التحرك في طول الأنبوب L .

L = الطول بين فاصلي تمدد.

القوى الناشئة عن إنشاءات الأنابيب Forces Due To Bends

يكثر في التطبيقات العملية استخدام مصدّات دفعيّة في إنشاءات الأنابيب لتعباً بالقوى المؤثرة على الأنبوب الناتجة عن تغير كمية الحركة والضغط الداخلي اللامتوازن للماء.

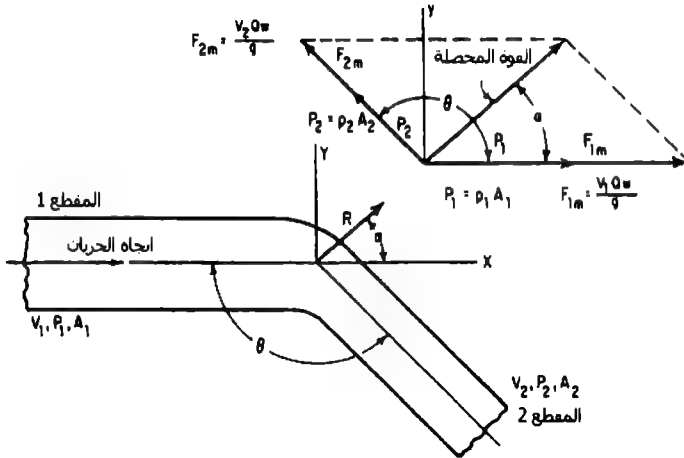
مخطط القوة الموضح في الشكل 12.12 هو الطريقة الملائمة لإيجاد محصلة القوى على الإنشاء. حيث يمكن تحليل القوى إلى المركبتين X و Y لإيجاد مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة على الأنبوب.

ففي الشكل 12.12:

V_1 = السرعة قبل تغير مقاس الأنبوب، (m/s) أو (ft/s) .

V_2 = السرعة بعد تغير مقاس الأنبوب، (m/s) أو (ft/s) .

p_1 = الضغط قبل انشاء أو تغير مقاس الأنبوب، (KPa) أو (lb/ft^2) .



الشكل 12.12 القوى الناتجة عن جريان سائل في أنبوب مثني ومتغير القطر.

p_2 = الضغط بعد انشاء أو تغير مقاس الأنبوب، (KPa) lb/ft².

A_1 = المساحة قبل تغير مقاس الأنبوب، ft² (m²).

A_2 = المساحة بعد تغير مقاس الأنبوب، ft² (m²).

F_{2m} = القوة الناشئة عن كمية حركة الماء في المقطع (2) وتساوي إلى:

$$F_{2m} = V_2 Q w/g$$

F_{1m} = القوة الناشئة عن كمية حركة الماء في المقطع (1) وتساوي:

$$F_{1m} = V_1 Q w/g$$

P_2 = ضغط الماء في المقطع (2) مضروباً بمساحة المقطع (2) ويساوي:

$$P_2 = p_2 A_2$$

P_1 = ضغط الماء في المقطع (1) مضروباً بمساحة المقطع 1 ويساوي:

$$P_1 = p_1 A_1$$

w = وزن واحدة الحجم للسائل، lb/ft³ (kg/m³) (يعني أن w/g هي كثافة السائل).

Q = التدفق، ft³/s (m³/s).

إذا كان فاقد الضغط في الإنشاء مهماً ولم يكن هناك تغير في مقدار السرعة حول الإنشاء، فإن الحل السريع هو:

$$R = 2A \left(w \frac{V^2}{g} + p \right) \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\alpha = \frac{\theta}{2}$$

حيث:

R = القوة المحصلة المؤثرة على الإنشاء، lb (N).

α = زاوية R مع F_{1m} .

p = الضغط، lb/ft² (kPa).

w = وزن واحدة حجم الماء، lb/ft³ 62.4 (kg/m³) 998.4.

V = سرعة الجريان، ft/s (m/s).

g = تسارع الجاذبية، ft/s² 32.2 (m/s²) 9.81.

A = مساحة مقطع الأنبوب، ft² (m²).

θ = الزاوية فيما بين خطوط الأنابيب ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$).

مجارير الصرف المستعرضة (التحتية) Culverts

المجروح هو ناقل مائي ذو محيط مغلق يُمرّر الصرف السطحي إلى ما دون طريق عام أو خط حديدي أو قناة أو أي منشأة مرتفعة تشكل حائلاً لمرور الماء. ويُعيّن ميل المجروح وشكله ومدخله ومخرجه عادةً بوساطة طبوغرافية الموقع. وبسبب أنه يمكن الحصول على عدة أشكال وهيئات للمجروح حسبما تملّيه شروط الدخول والخروج والميل، فليس هناك من صيغة بعينها يمكن أن تُعطى لتطبّق على جميع مسائل المجارير.

إن الطريقة الأساسية لتعيين التدفق من خلال مجروح تتطلب تطبيقاً لمعادلة برنولي بين نقطتين، الأولى قبل المدخل والثانية في مكان ما من التيار المنحدر.

المدخل والمخرج غائصان

يمتليّ المجروح بالجريان عندما يكون كلّ من المخرج والمدخل غائصين، والتدفق في هذه الحالة مستقل عن الميل. وتشكل هذه، حالة جريان أنبوبي عادي ويكون حلها سهلاً بتطبيق صيغة ماننغ أو دارسي فايسباخ الخاصة بالضياح الاحتكاكي. (الشكل 12.13).

المعادلة التالية يتم الحصول عليها من تطبيق معادلة برنولي على المدخل والمخرج وكذا بتطبيق معادلة ماننغ للضياح الاحتكاكي:

$$H = (1 - K_e) \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2 n^2 L}{2.21 R^{4/3}}$$

وبحل المعادلة بالنسبة لسرعة الجريان ينتج:

$$V = \sqrt{\frac{H}{(1 + K_e / 2g) + (n^2 L / 2.21 R^{4/3})}}$$

حيث:

H = فرق الارتفاع بين المنسوبين المائتين العلوي والسفلي، ft (m).

V = السرعة في المجرور، ft/s (m/s).

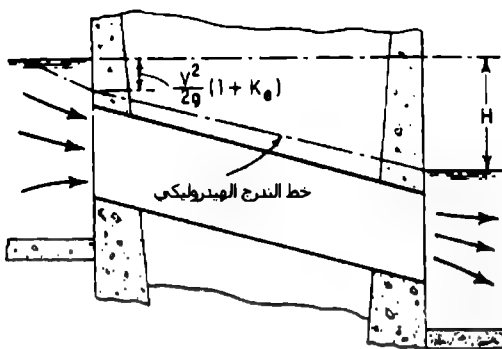
g = تسارع الجاذبية، 32.2 ft/s^2 (9.81 m/s^2).

K_e = أمثال ضياع الدخول.

n = أمثال خشونة مانينغ.

L = طول المجرور، ft (m).

R = نصف القطر الهيدروليكي للمجرور، ft (m).



الشكل 12.13 حدوث الجريان الأنبوبي العادي بمدخل ومخرج غائصين. استقلالية التدفق عن الميل. جريان السائل تحت الضغط. يمكن أن يُعَيَّن التدفق من معادلتَي برنولي ومانينغ.

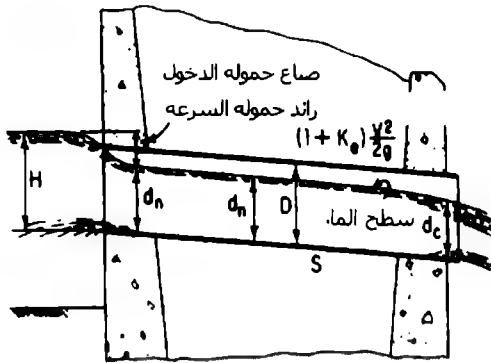
يمكن حل المعادلة السابقة مباشرة لأن السرعة هي المجهول الوحيد.

المجارير على انحدارات لا تصل إلى الحد الحرج

الميل الحرج هو الميل الكافي للحفاظ على الجريان بالعمق الحرج. أما عندما يكون الميل أدنى من الميل الحرج، فيعتبر الجريان جرياناً دون الحد الحرج.

مدخل غائص أو غير غائص إلا أن المخرج حر

بما يخص هذه الحالة، وبالاكتفاء على الحمولة، يمكن أن يكون الجريان إما مضغوطاً أو جريان قناة مكشوفة (الشكل 12.14).



الشكل 12.14 يحدث جريان قناة مكشوفة في مجرور بتدفق حر وعمق نظامي d_n أكبر من العمق الحرج d_c عندما يكون المدخل غير غائص أو غائصاً قليلاً. ويعتمد التدفق على الحمولة H وضباب الدخول وميل المجرور.

يتم الحصول على تدفق شرط القناة المكشوفة بكتابة معادلة برنولي من أجل نقطتين، الأولى تقع قبل المدخل بقليل والأخرى تقع على مسافة قريبة من المدخل مع التيار المنحدر. وعليه فإن:

$$H = K_e \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} + d_n$$

يمكن أن تُحسب السرعة من معادلة مانينغ:

$$V^2 = \frac{2.2SR^{4/3}}{n^2}$$

وبتعويضها في العلاقة السابقة:

$$H = (1 + K_e) \frac{2.2}{2gn^2} SR^{4/3} + d_n$$

حيث:

H = الحمولة على المدخل مقاسة من قاع المجرور، (m) ft.

K_e = أمثال ضياع الدخول.

S = ميل خط تدرج القدرة، حيث يُفرض في المجاري مساوياً إلى ميل قاع المجرور.

R = نصف القطر الهيدروليكي للمجرور، (m) ft.

d_n = العمق النظامي للجريان، (m) ft.

لحل معادلة الحمولة السابقة، لابد من المحاولة بعدة قيم لـ d_n والقيم المقابلة لـ R حتى إيجاد تلك القيمة التي تحقق المعادلة.

Open-Channel Flow

الجريان في الأفتية المكشوفة

يشمل الجريان السطحي الحر أو الجريان في الأفتية المكشوفة جميع حالات الجريان التي يكون فيها سطح السائل مكشوفاً نحو الغلاف الجوي (الضغط الجوي). وهكذا، يكون الجريان في أنبوب جريان قناة مكشوفة إذا كان الأنبوب مملوءاً جزئياً.

القناة المنتظمة هي قناة ذات مقطع عرضي ثابت. ويكون لهذه القناة جريان منتظم إذا كان تدرج أو ميل سطح الماء نفس ما للقناة. وعليه، يكون عمق الجريان ثابتاً خلال الجريان. ويحدث الجريان الدائم في القناة إذا بقي العمق في أي مكان ثابتاً مع الزمن.

يُعرف التدفق Q في أي مقطع بحجم الماء المار من ذلك المقطع بوحدة الزمن. فيُعبّر عنه بالقدم المكعب بالثانية، ft^3/s (متر المكعب بالثانية، m^3/s). ويُعطى بالعلاقة:

$$Q = VA$$

حيث:

V = السرعة الوسطية، ft/s (م/s).

A = مساحة مقطع الجريان، ft^2 (م²).

عندما يكون التدفق ثابتاً، يقال عن الجريان أنه جريان مستمر، ولذلك يكون:

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = \dots$$

حيث يرمز أو يسمى الدليل السفلي مقاطع أفقية مختلفة. تعرف هذه المعادلة بمعادلة الاستمرار للجريان الدائم المستمر.

يقاس عمق الجريان d بالمسافة الشاقولية من قاع القناة إلى سطح الماء، ft (م).

والحيط المبلول هو طول الخط الذي يُحدّد مساحة المقطع العرضي للجريان ناقص عرض السطح الحر، ft (م). ويساوي نصف القطر الهيدروليكي R إلى مساحة الجريان مقسومة على محيطها المبلول.

وتُعرف السرعة الوسطية للجريان V بأنها التدفق مقسوماً على مساحة الجريان:

$$V = \frac{Q}{A}$$

تعطى حمولة السرعة H_v عموماً بالعلاقة:

$$H_v = \frac{V^2}{2g}$$

V = السرعة الوسطية، ft/s (m/s).

g = تسارع الجاذبية، 32.2 ft/s² (9.81 m/s²).

ويمكن أن يُعبّر عن حمولة السرعة الحقيقية بـ:

$$H_{va} = \alpha \frac{V^2}{2g}$$

حيث:

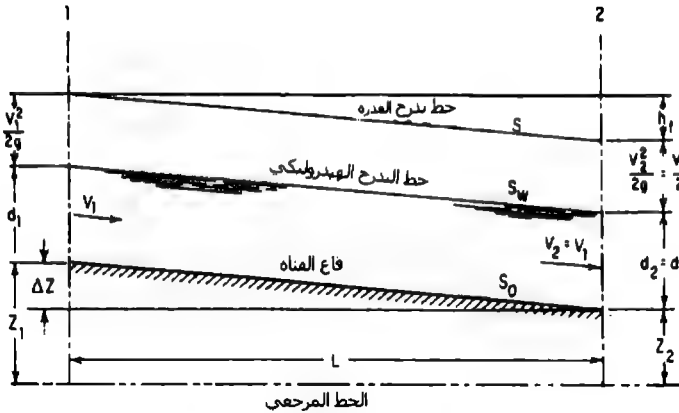
α هو أمثال عملي يُمثّل درجة الاضطراب. وقد أوضحت البيانات التجريبية أن α يمكن أن تتغير ما بين 1.03 إلى 1.36 تقريباً من أجل الأتنية المشورية.

مهما يكن، تؤخذ قيمتها في الأحوال العادية مساوية إلى 1.00 بما يخص الأعمال الهيدروليكية، وتحسب قيمتها فقط في حالة التحقيقات الدقيقة عن ضياع القدرة.

تسمى القدرة الإجمالية بالباوند (بالكيلو غرام) من الماء، بالنسبة لقاع القناة في مقطع شاقولي، حمولة القدرة المُميّزة (النوعية) H_e . وهي مؤلفة من عمق الجريان عند أي نقطة زائد حمولة السرعة عند النقطة. ويُعبّر عنها بالقدم (بالمتر) وفق العلاقة:

$$H_e = d + \frac{V^2}{2g}$$

يدعى المقطع الجانبي الطولاني لعلو حمولة القدرة المُميّزة بخط تدرّج القدرة أو خط الحمولة الإجمالية (الشكل 12.15). ويدعى المقطع الجانبي الطولاني لسطح الماء بخط التدرج الهيدروليكي. وتساوي المسافة الشاقولية بين هذين الخطين عند أي نقطة إلى حمولة السرعة عند تلك النقطة.



الشكل 12.15 الصفات المميزة للجريان المنتظم في قناة مكشوفة.

يساوي ضياع الحمولة الناشئ عن الاحتكاك h_f ، على امتداد طول معين L في القناة، إلى مقدار الهبوط في الارتفاع للقناة ΔZ على امتداد نفس الطول L . (انظر الشكل 12.15).

عمق الجريان النظامي (الطبيعي)

يدعى عمق الجريان المتوازن، الموجود في قناة الشكل 12.15، بالعمق النظامي (d_n) للجريان. ويكون هذا العمق وحيداً من أجل تدفق معين وشروط معينة للقناة. ويمكن حسابه بطريقة الخطأ والصواب عندما يكون، شكل القناة وميلها وخشونتها وتدفقها، معلومة. والشكل المقترح لمعادلة مانينغ الخاصة بعملية الحساب هذه هو:

$$AR^{2/3} = \frac{Qn}{1.486S^{1/2}}$$

حيث:

A = مساحة مقطع الجريان، (m^2) ft².

R = نصف القطر الهيدروليكي، (m) ft.

Q = كمية الجريان أو التدفق، (m^3/s) ft^3/s .

n = أمثال خشونة مانينغ.

S = ميل خط تدرج القدرة أو ضياع الحمولة الناشئ عن الاحتكاك بالقدم الطولي (بالمتر الطولي) من القناة $ft/linear$ (متر بالمتر الطولي).

وَيُشار إلى $AR^{2/3}$ بعامل المقطع.

العمق الحرج للجريان في قناة مكشوفة

يعطي العمق الحرج، من أجل قيمة مفترضة للقدرة المميزة، تدفقاً أعظمية، أو على نحوٍ معاكس، من أجل قيمة مفترضة للتدفق تكون القدرة المميزة أصغرية عند العمق الحرج.

يُعطى العمق الحرج (d_c) في الأفنية ذات المقاطع المستطيلة بالعلاقة:

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

حيث:

d_c = العمق الحرج، (m) ft.

Q = كمية الجريان أو التدفق، (m^3/s) ft^3/s .

b = عرض القناة، (m) ft.

معادلة مانينغ في الأفنية المكشوفة

Manning's Equation For Open Channels

إن المعادلة الأكثر شيوعاً، من بين المعادلات الهائلة الخاصة بتعيين الجريان في قناة مكشوفة، هي معادلة مانينغ المطورة من صيغة تشيزي:

$$V = C\sqrt{RS}$$

حيث:

V = السرعة الوسطية للجريان، ft/s (m/s).

R = نصف القطر الهيدروليكي، ft (m).

S = ميل خط تدرج القدرة أو ضياع الحمولة الناشئ عن احتكاك القناة، ويقدر بـ ft/linear ft (m/m).

C = أمثال خشونة تشيزي.

افترض مانينغ أن:

$$C = \frac{1.486^{1/6}}{n}$$

حيث، n أمثال الخشونة في صيغة غانغويلت - كوتر (Ganguillet-Kutter formula).

وعندما يستخدم عامل مانينغ C في صيغة تشيزي، تنتج معادلة مانينغ الخاصة بسرعة الجريان في قناة مكشوفة:

$$V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

ولأن التدفق، $Q = VA$ ، فيمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بالشكل:

$$Q = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

حيث:

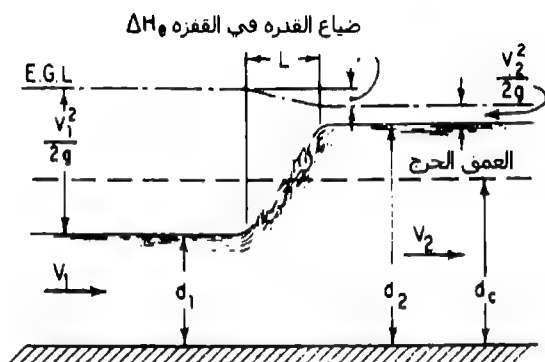
A = مساحة مقطع الجريان، (m^2) ft^2 .

Q = كمية الجريان أو التدفق، (m^3/s) ft^3/s .

Hydraulic Jump

القفزة الهيدروليكية

القفزة الهيدروليكية هي تزايد مفاجئ في عمق ماء يجري بسرعة (الشكل 12.16). يتحول الجريان عند القفزة من مرحلة الجريان ما فوق الحرج إلى مرحلة الجريان ما دون الحرج مع ضياع مرافق للقدرة الحركية. ولا يكون العمق عند القفزة منقطعاً (فجائياً). فالتغير في العمق يحدث على امتداد مسافة منتهية تُعرف هذه المسافة بطول القفزة. سطح التيار الصاعد من القفزة، المعروف بالدوامة، إن هو إلا كتلة مضطربة من الماء.



الشكل 12.16 القفزة الهيدروليكية.

يساوي العمق قبل القفزة إلى العمق الابتدائي، أما العمق بعد القفزة فهو العمق الناتج، وتكون القدرة المميزة من أجل العمق الناتج أقل من تلك العائدة للعمق الابتدائي بسبب تبديد القدرة بالقفزة. (يفترض أو يجب ألا يتم الخلط بين العمقين الابتدائي والناتج من جهة مع أعماق خطوط تساوي القدرة أو الأعماق البديلة من جهة أخرى).

قوة الضغط المتنامية في القفزة الهيدروليكية هي:

$$F = \frac{d_2^2 w}{2} - \frac{d_1^2 w}{2}$$

حيث:

d_1 = العمق قبل القفزة، (m).

d_2 = العمق بعد القفزة، (m).

w = وزن واحدة الحجم للماء، lb/ft^3 (kg/m^3).

ويساوي معدل تغير كمية الحركة عند القفزة بعرض قدم (ft) من القناة إلى:

$$F = \frac{MV_1 - MV_2}{t} = \frac{qw}{g} (V_1 - V_2)$$

حيث:

M = كتلة الماء، $\text{lb.s}^2/\text{ft}$ ($\text{kg.s}^2/\text{m}$).

V_1 = السرعة عند العمق d_1 ، (m/s) ft/s.

V_2 = السرعة عند العمق d_2 ، (m/s) ft/s.

q = التدفق بالقدم العرضي من مقطع القناة المستطيل، ft^3/s (m^3/s).

t = واحدة الزمن، s.

$g = \text{تسارع الجاذبية، } 32.2 \text{ ft/s}^2 \text{ (} 9.81 \text{ kg/s}^2 \text{)}.$

وبالتالي يكون:

$$V_1^2 = \frac{gd_2}{2d_1}(d_2 + d_1)$$

$$d_2 = \frac{-d_1}{2} + \sqrt{\frac{2V_1^2 d_1}{g} + \frac{d_1^2}{4}}$$

$$d_1 = \frac{-d_2}{2} + \sqrt{\frac{2V_2^2 d_2}{g} + \frac{d_2^2}{4}}$$

يساوي ضياع الحمولة في القفزة إلى الفارق في حمولة القدرة قبل وبعد القفزة. هذا الفارق (الشكل 12.17) يُعطى بـ:

$$\Delta H_e = H_{e1} - H_{e2} = \frac{(d_2 - d_1)^3}{4d_1 d_2}$$

حيث:

H_{e1} = حمولة القدرة المميزة للتيار قبل القفزة، ft (m).

H_{e2} = حمولة القدرة المميزة للتيار بعد القفزة، ft (m).

يمكن أن يُربط العمقان قبل وبعد القفزة الهيدروليكية مع العمق الحرج بالعلاقة:

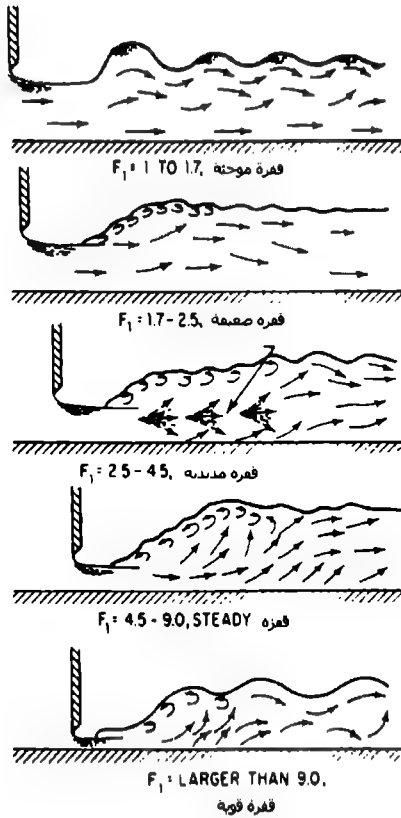
$$d_1 d_2 \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{q^2}{g} = d_c^3$$

حيث:

q = التدفق، ft^3/s (m^3/s)، وذلك بعرض واحد قدم ft (أو واحد متر (m)) من مقطع القناة.

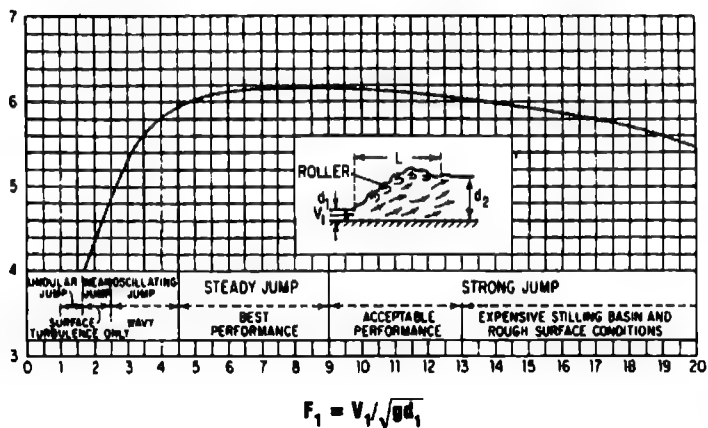
d_c = العمق الحرج للقناة، ft (m).

قد يُلاحظ من هذه المعادلة، أنه إذا كان $d_1 = d_2$ ، فإن d_2 يجب أن تساوي d_1 أيضاً.



الشكل 12.17 يعتمد نوع القفزة الهيدروليكية على عد فرود (Froude number).

يبين الشكل 12.18 كيف يمكن حساب طول القفزة الهيدروليكية باستخدام عدد فرود والنسبة L/d_2 .



الشكل 12.18 يعتمد طول القفزة الهيدروليكية في قناة أفقية على العمق الناتج d_2 وعدد فروود وخطوط تقارب الجريان.

الجريان اللامنتظم في الأفنية المكشوفة

Nonuniform Flow In Open Channels

الرموز المستخدمة في هذا المقطع هي:

V = سرعة الجريان في القناة المكشوفة، ft/s (m/s).

D_c = العمق الحرج، ft (m).

g = تسارع الجاذبية، ft/s² (m/s²).

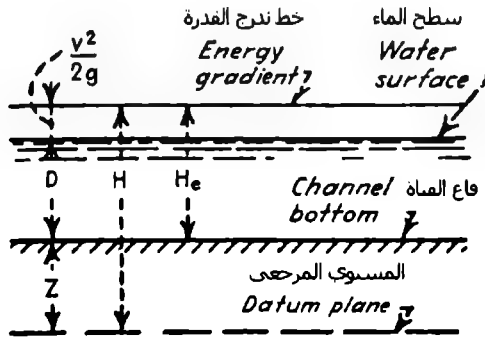
Q = معدل الجريان أو التدفق، ft³/s (m³/s).

q = معدل الجريان أو التدفق بوحدة العرض، ft³/ft (m³/m).

H_m = القدرة المميزة (النوعية) الأصغر، ft.lb/lb (kg.m/kg).

وأبعاد القناة بالقدم أو بالتر والرموز الخاصة بهذه الأبعاد معطاة في النص والأشكال التوضيحية.

يحدث الجريان اللامنتظم في الأقنية المكشوفة بتغيرات متدرجة أو مفاجئة في مساحة المقطع العرضي من تيار السائل. ويُستخدم مصطلحا جريان متغير تدريجياً وجريان متغير فجائياً لوصف هذين النوعين من الجريان اللامنتظم.



الشكل 12.19 القدرة لجريان سائل في قناة مكشوفة

المعادلات المعطاة لاحقاً هي معادلات للجريان في:

- (1) الأقنية ذات المقطع المستطيل.
- (2) الأقنية ذات المقطع المثلثي.
- (3) الأقنية ذات المقطع المكافئ (قطع مكافئ).
- (4) الأقنية ذات المقطع الشبه منحرف.
- (5) الأقنية ذات المقطع الدائري.

تغطي هذه الأنواع الخمسة من الأقنية معظم الأمثلة الواقعية التي يتم مواجهتها في الحقل.

يوضح الشكل 12.19 العلاقات العامة للقدرة في جريان سائل في قناة مكشوفة.

الأقنية المستطيلة

يساوي العمق الحرج D_c ، في قناة مستطيلة، إلى العمق الوسطي D_m . ويساوي عرض قاع القناة b إلى عرض القمة T . وعندما يؤخذ تدفق السائل كجريان بالقدم (بالمتر) من عرض القناة q ، فإن كلاً من T و b يساوي الواحدة. وبالتالي، تكون السرعة الوسطية V_c :

$$V_c = \sqrt{gD_c} \quad (12.1)$$

و

$$D_c = \frac{V_c^2}{g} \quad (12.2)$$

أيضاً

$$Q = \sqrt{g} b D_c^{3/2} \quad (12.3)$$

حيث:

g = تسارع الجاذبية في نظام الوحدات الأمريكية أو الدولية.

$$q = \sqrt{g} D_c^{3/2} \quad (12.4)$$

و

$$D_c = 3 \sqrt{\frac{q^2}{g}} \quad (12.5)$$

والقدرة المميزة الأصغرية:

$$H_m = \frac{3}{2} D_c \quad (12.6)$$

والعمق الحرج:

$$D_c = \frac{2}{3} H_m \quad (12.7)$$

وبالتالي يعطى التدفق بالقدم (بالمتر) من عرض القناة بالعلاقة:

$$q = \sqrt{g} \left(\frac{2}{3} \right)^{3/2} H_m^{3/2} \quad (12.8)$$

وبتعويض قيمة، $g = 32.16$ ، تصبح المعادلة (12.9):

$$q = 3.087 H_m^{3/2} \quad (12.9)$$

الأقنية المثلثية

يساوي العمق الأعظمي D_c والعمق الوسطي D_m في قناة مثلثية (الشكل 12.20) إلى $\frac{1}{2} D_c$. وبالتالي فإن:

$$V_c = \sqrt{\frac{g D_c}{2}} \quad (12.10)$$

و

$$D_c = \frac{2 V_c^2}{g} \quad (12.11)$$

ووفق ما هو موضح في الشكل 12.20، z هي ميل ضلعي القناة، ويعبر عنها بنسبة الأفق على الشاقول. فمن أجل مقاطع متناظرة، $z = e/D_c$ والمساحة هي $a = z D_c^2$.

إذن:

$$Q = \sqrt{\frac{g}{2}} z D_c^{5/2} \quad (12.12)$$

وبتعويض قيمة، $g = 32.16$ ، تصبح Q :

$$Q = 4.01 z D_c^{5/2} \quad (12.13)$$

و

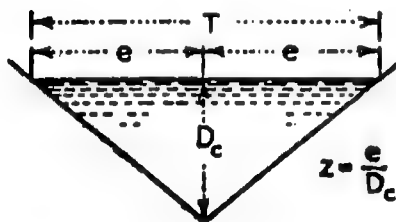
$$D_c = \sqrt[5]{\frac{2Q^2}{gz^2}} \quad (12.14)$$

أو

$$Q = \sqrt{\frac{g}{2}} \left(\frac{4}{5} \right)^{5/2} z H_m^{5/2} \quad (12.15)$$

وباستبدال قيمة $g = 32.16$ ، تصبح Q :

$$Q = 2.295 z H_m^{5/2} \quad (12.16)$$



الشكل 12.20 قناة مكشوفة مثلثية.

الأقنية بمقطع عرضي على شكل قطع مكافئ

يمكن أن تُعرّف هذه الأقنية بصورة ملائمة بواسطة العرض العلوي T والعمق D_c .

وبالتالي تكون المساحة، $a = \frac{2}{3} D_c T$ والعمق الوسطي $D_m =$

إذن (انظر الشكل (12.21):

$$V_c = \sqrt{\frac{2}{3} g D_c} \quad (12.17)$$

و

$$D_c = \frac{3}{2} \frac{V_c^2}{g} \quad (12.18)$$

إضافة إلى أن:

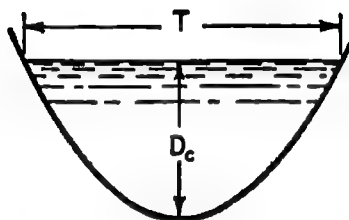
$$Q = \sqrt{\frac{8g}{27}} T D_c^{3/2} \quad (12.19)$$

وباستبدال قيمة، $g = 32.16$:

$$Q = 3.087 T D_c^{3/2} \quad (12.20)$$

و

$$D_c = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g T^2}} \quad (12.21)$$



الشكل 12.21 قناة مكشوفة مقطوعها على شكل قطع مكافئ.

وأيضاً:

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{27}} \left(\frac{3}{4} \right)^{3/2} TH_m^{3/2} \quad (12.22)$$

وبتعويض قيمة، $g = 32.16$ ، تصبح Q :

$$Q = 2.005 TH_m^{3/2} \quad (12.23)$$

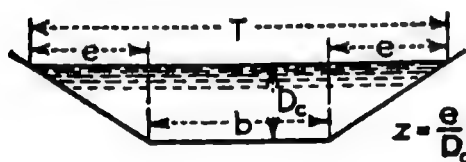
الأقنية الشبه منحرفة

يُظهر الشكل 12.2 قناة شبه منحرفة بعمق D_c وعرض قاع b ، ويميل للأضلاع، الأفق مقسوماً على الشاقول، يساوي z . وبالتعبير عن العمق الوسطي D_m باستخدام أبعاد القناة، تكون علاقتا العمق الحرج D_c والسرعة الوسطي V_c :

$$V_c = \sqrt{\frac{b + zD_c}{b + 2zD_c}} gD_c \quad (12.24)$$

و

$$D_c = \frac{V_c^2}{c} - \frac{b}{2z} + \sqrt{\frac{V_c^4}{g^2} + \frac{b^2}{4z^2}} \quad (12.25)$$



الشكل 12.22 قناة مكشوفة شبه منحرفة.

ومن ثم يكون التدفق من خلال القناة:

$$Q = \sqrt{g \frac{(b + zD_c)^3}{b + 2zD_c}} D_c^{3/2} \quad (12.26)$$

وبالتالي، تكون القدرة المميزة الأصغرية والعمق الحرج:

$$H_m = \frac{3b + 5zD_c}{2b + 4zD_c} D_c \quad (12.27) \quad (12.27)$$

$$D_c = \frac{4zH_m - 3b + \sqrt{16z^2H_m^2 + 16zH_mb + 9b^2}}{10z} \quad (12.28)$$

الأقنية الدائرية

يوضح الشكل 12.23 قناة دائرية نموذجية، مساحة مقطع السائل فيها a (العرض العلوي للسائل T وعمقه D_c) تساوي إلى:

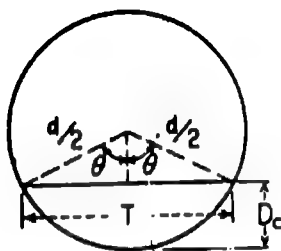
$$a = \frac{d^2}{4} \left(\theta_r - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) \quad (12.29)$$

$$T = d \sin \theta \quad (12.30)$$

$$D_c = \frac{d}{2} (1 - \cos \theta) \quad (12.31)$$

وبالتالي تُعطى كمية التدفق بـ:

$$Q = \frac{2^{3/2} g^{1/2} \left(\theta_r - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right)^{3/2}}{8(\sin \theta)^{1/2} (1 - \cos \theta)^{5/2}} D_c^{5/2} \quad (12.32)$$



الشكل 12.23 قناة دائرية.

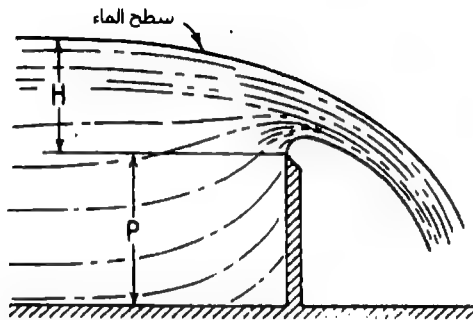
الهدارات (الحواجز المائية) Weirs

الهدار حاجز في قناة مكشوفة يجري فوقه الماء. ويدعى السطح أو الحافة الذي يجري فوقه الماء الذروة أو القمة. وتدعى طبقة الجريان العلوية للماء المارة فوق الهدار بلسان الماء.

فإذا كان اللسان المائي يتدفق في الهواء فإن للهدار تدفقاً حرّاً. أمّا إذا كان اللسان المائي يتدفق جزئياً تحت الماء، فإن الهدار يكون غائصاً أو مغموراً.

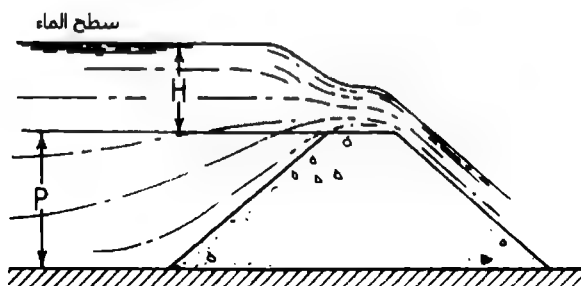
أنواع الهدارات

الهدار ذو الزاوية أو الحافة الحادة المواجهة للتيار، الذي تكون فيه القفزة المائية واضحة تماماً فوق ذروته، يدعى هداراً حاد الذروة (انظر الشكل 12.24). وتصنف الهدارات الأخرى كهدارات غير حادة الذروة. وعلى أي حال، تُصنّف الهدارات الحادة الذروة تبعاً لشكل فتحة الهدار، مثل الهدارات المستطيلة والمثلثية والهدارات ذات الثلم V والهدارات الشبه منحرفة وهدارات القطع المكافئ (ذات فتحة على شكل قطع مكافئ).



الشكل 12.24 هدار حاد الذروة

أما الهدارات اللاحادة الذروة، فهي مصنفة تبعاً لمقطعها العرضي، مثل الهدارات ذات القمة العريضة والهدارات المثلثية والهدارات الشبه منحرفة (الموضحة في الشكل 12.25).



الشكل 12.25 هدار غير حاد الذروة (حاجز أو سد مائي).

القناة الممهّدة للجرّيان المقترّب من الهدار هي قناة التقارب. والسرعة الوسطية في هذه القناة هي سرعة التقارب. وعمق الماء الذي يعطي التدفق الموافق يساوي إلى الحمولة.

تنفع الهدارات الحادة الذروة فقط كوساطة لقياس جريان الماء. بالمقابل، يتم إلحاق الهدارات اللاحادة الذروة، عموماً، بالمنشآت الهيدروليكية كوسائط للتحكم أو لتنظيم الجريان، مع قياس الجريان كعمل ثانوي لها.

Flow Over Weirs

الجرّيان فوق الهدارات

الهدار المستطيل

صيغة فرانثيس (Francis formula) لتدفق هدار مستطيل حاد الذروة عرضه b أكبر من $3h$ (ستعرّف لاحقاً) هي:

$$Q = 3.33 \left(\frac{b - nh}{10} \right) \left[(h + h_0)^{3/2} - h_0^{3/2} \right]$$

حيث:

Q = التدفق فوق الهدار، (m^3/s) ft³/s.

b = طول الهدار (طول الضلع المستطيل)، (m) ft.

h = المسافة الشاقولية من مستوى ذروة الهدار إلى سطح الماء عند نقطة لم تتأثر بعد بهبوط مستوى ماء الهدار (الحمولة على الهدار)، (m) ft.

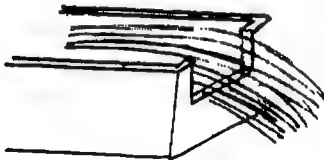
(انظر الشكلين السابقين، h قريبة من ارتفاع اللسان المنسكب)

n = عدد يتعلق بتضايق النهاية (ويؤخذ 0 أو 1 أو 2).

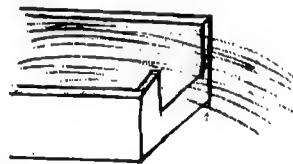
h_0 = حمولة سرعة التقارب [وتساوي إلى $v_0^2/2g_c$ ، حيث v_0 هي سرعة التقارب، (m/s) ft/(m/s)، (m) ft.

$g_c = 32.2$ ، (ليبرة كتلية)/(قدم)/(ليبرة قوة) (s^2) أو (m/s^2) .

إذا كانت أضلاع الهدار متطابقة مع أضلاع قناة التقارب، فإن الهدار يُعتبر هداراً مُحمّداً، وتؤخذ $n = 0$. وإذا كان ضلعا الهدار منزاحين إلى حدّ كافٍ عن ضلعي قناة التقارب للسماح بتقارب جانبي حر لجريان الماء، فإن الهدار يُعتبر هداراً متضايقاً، وتؤخذ $n = 2$. أمّا إذا كان أحد أضلاع الهدار مُحمّداً (مع سوية ضلع القناة) وكان الضلع الآخر متضايقاً (مبتعداً عن ضلع القناة)، فتؤخذ $n = 1$.



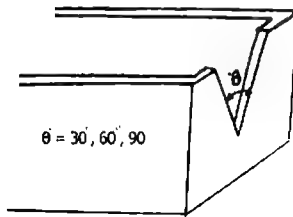
هدار متضايق



هدار مستطيل بصلح مُحمّد وآخر متضايق

الهدار المثلثي

تدفع الهدارات المثلثية ذات الثلم المثلثي بزوايا 30° و 60° و 90° ، معطى بالصيغ الواردة في الجدول 12.2.

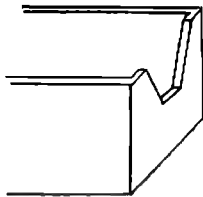


الجدول 12.2 تدفق الهدارات المثلثية.

زاوية الثلم (رأس المثلث)	صيغة التدفق *
90°	$Q = 0.685 h^{2.45}$
60°	$Q = 1.45 h^{2.47}$
30°	$Q = 2.49 h^{2.48}$

* h تم تعريفها في صيغة فرانثيس

الهدار الشبه منحرف (هدار تشبوليتي - Cipolletti weir)



هدار تشبوليتي، المستخدم كثيراً في أغراض الري، هو هدار شبه منحرف. وينحدر الضلعان، المنفرجان بدءاً من ذروة الهدار، بميل يساوي 1:4 (أفقي/شاقولي).

والتدفق يُعطى بالعلاقة:

$$Q = 3.367 b h^{3/2}$$

حيث: b و h و Q تم تعريفها سابقاً.

ميزة هذا النوع من الهدارات هي أنها لا تحتاج إلى تصحيحات يُطلب حسابها من أجل التضايقات.

الهدار ذو القمة (الذروة) العريضة*

يساوي التدفق في الهدار ذي الذروة العريضة إلى:

$$Q = Cb h^{3/2}$$

قيم C العائدة للهدارات ذات الذروة العريضة، بأركان مستديرة مواجهة للتيار، تتحول عموماً من 2.6 إلى 2.4. ومن أجل أركان حادة مواجهة للتيار تتحول C عموماً من 2.4 إلى 2.6. وتُصمم مفيضات السد عادة لتلائم شكل الجانب السفلي من جريان تيار فوق هدار حاد الذروة. ويتغير الأمثال C لمثل هذه المفيضات على نحو ملحوظ مع تغير الحمولة وفق ما هو مبين في الجدول 12.3.

Q و b و h تُعرّف كما عرّفت من أجل الهدارات المستطيلة.

الجدول 12.3 تغيرات نسبة الحمولة وأمثال التدفق لهدارات ذات ذروة عريضة.

أمثال التدفق	نسبة الحمولة الفعلية إلى الحمولة التصميمية
3.30	0.20
3.50	0.40
3.70	0.60
3.85	0.80
3.98	1.00
4.10	1.20
4.22	1.40

* الهدار ذو القمة العريضة هو نوع من الهدارات اللاحدة الذروة المصنفة تبعاً لمقطعها العرضي. راجع الشكل 12.2. (المنعذ).

توقع معدل حمل الرسوبيات

Prediction Of Sediment-Delivery Rate

ثمة طريقتان تقريبتان متاحان لتوقع معدل تراكم الترسب في حوض تخزين المياه. وكلاهما تستدعيان توقع معدل حمل المادة الرسوبية.

تعتمد الطريقة التقريبية الأولى على تسجيلات زمنية طويلة لمعدل الطمي المترسب في أحواض التجميع الكائنة. وهي طريقة عملية (حقليّة) بحتة.

الطريقة العامة الثانية لحساب معدل الحمل الرسوبي تستدعي تعيين معدل نقل الراسب كنابع لتدفق التيار وكثافة السيلت (الطمي) المعلق.

تُعتبر كمية حمولة السرير تابعاً ثابتاً للتدفق، ذلك لأن كمية المادة الرسوبية التي تزيد من قوى حمولة السرير المائي، تكون دائماً معلومة في معظم الأقنية الخطية. والصيغة المقبولة لحساب كمية المادة الرسوبية المنقولة كحمولة سريرية هي صيغة شوكليتش (Schoklitsch formula):

$$G_b = \frac{86.7}{D_g^{1/2}} S^{3/2} (Q_i - bq_0)$$

حيث:

G_b = حمولة السرير الإجمالية، (Kg/s) lb/s.

D_g = القطر الحي الفعال، (mm) in.

S = ميل خط تدرج القدرة.

Q_i = التدفق الآني الإجمالي، (m³/s) ft³/s.

b = عرض النهر (المجرى)، (m) ft.

q_n = التدفق الحرج لعرض النهر (المجرى)، ft³/s بالقدم (m³/s بالمتري)، ويساوي:

$$q_0 = (0.00532/S^{4/3}) D_g$$

يمكن القيام بحل تقريبي لصيغة شوكليتش المتعلقة بالحمولة السريرية عن طريق تعيين أو افتراض قيم وسطية للميل والتدفق وحجم الحبة التي تمثل المادة الرسوبية في الحمولة السريرية. ويكون عادةً حجم الحبة الوسطي بقطر 0.04 إنش (تقريباً 1 mm) مقبولاً من أجل نهر ذي ميل يساوي 1.0 ft/mi (0.189 m/km) تقريباً.

Evaporation And Transpiration

التبخر والارتشاح

معادلة ماير (Meyer equation)، المطوّرة من قانون دالتون (Dalton's law)، هي معادلة من صيغ التبخر العديدة، وهي معادلة شائعة الاستخدام في حسابات معدل التبخر:

$$E = C (e_w - e_a) \psi$$

$$\psi = 1 + 0.1 w$$

حيث:

E = معدل التبخر في شهر مؤلف من ثلاثين يوماً.

C = أمثال عملي ويساوي إلى 15 من أجل برك صغيرة وضحلة، ويساوي إلى 11 من أجل أحواض كبيرة وعميقة.

e_w = ضغط بخار الإشباع للزئبق، المقابل لدرجة حرارة الهواء الوسطية شهرياً، مقاساً عند محطات قريبة من أجل كتل مائية صغيرة وضحلة، أو ضغط بخار الإشباع للزئبق، المقابل لدرجة حرارة الماء بدلاً من الهواء من أجل كتل مائية كبيرة وعميقة. مقدراً بـ (mm) in.

e_a = ضغط التبخر الفعلي للزئبق، مقدراً بـ (mm) in، في الهواء يعتمد على درجة حرارة الهواء الوسطية شهرياً وعلى الرطوبة النسبية عند محطات قريبة من أجل كتل

صغيرة للماء الضحل. أو يعتمد على المعلومات التي تم الحصول عليها فوق 30 قدم (9.14 m) من سطح الماء تقريباً، من أجل كتل كبيرة للماء العميق.

w = سرعة الرياح الوسطية شهرياً، فوق 30 ft (9.14 m) من سطح الأرض تقريباً، مقدرة بـ mi/h km/h .

ψ = عامل الرياح.

وكمثال على التبخر الذي يمكن أن يحدث من بحيرة أو حوض كبير، يساوي التبخر السنوي الوسطي من بحيرة ميد (Mead Lake) إلى 6 ft (1.82 m).

طريقة تعيين التدفق السطحي المطري للمنشآت الهيدروليكية البسيطة

Method For Determining Runoff For Minor Hydraulic Structures

الطريقة الأكثر شيوعاً لتعيين التدفق السطحي المطري في المنشآت الهيدروليكية الثانوية هي الطريقة الأميركية المتضمنة تطبيق الصيغة المنطقية - rational formula:

$$Q = C I A$$

حيث:

Q = التدفق الأقصى، ft^3/s m^3/s .

C = أمثال الجريان السطحي = نسبة مئوية من كمية الأمطار التي تظهر كجريان سطحي مباشر.

I = شدة الهطول المطري، in/h mm/h .

A = مساحة التصريف، إكرات — acres m^2 .

حساب شدة الهطول المطري Computing Rainfall Intensity

تتسرد تشو - chow (منظمة غذائية) أربع وعشرين صيغة للشدة المطرية من الشكل:

$$I = \frac{KF^n}{(t+b)^n}$$

حيث:

I = شدة الهطول المطري، in/h (mm/h).

K و b و n و n_1 = أمثال وعامل وأسّان، على التوالي، وتعتمد على الشروط المؤثرة على شدة الهطول المطري.

F = تردد حدوث الهطول المطري، بالسنوات.

t = فترة العاصفة المطرية، min (بالدقيقة)، وتساوي:

= زمن تركّز العاصفة.

ربما تكون الصيغة الأكثر جدوى من بين هذه الصيغ هي الصيغة المسماة بصيغة ستيل - Steel formula:

$$I = \frac{K}{t+b}$$

حيث تعتمد K و b على تردد (تكرار) العاصفة وعلى الإقليم من الولايات المتحدة (الشكل 12.26 والجدول 12.4).

تعطي صيغة ستيل معدّلات التساقط (الهطول) العظمى الوسطية لفترات تزيد عن الساعتين.



الشكل 12.26 مناطق (أقاليم) من الولايات المتحدة تستخدم في صيغة ستيل - Steel formula

الجدول 12.4 أمثال خاصة بصيغة ستيل (Coefficients for steel formula)

المطقة							الأمثال	التردد، بالستين
7	6	5	4	3	2	1		
32	68	70	70	106	140	206	K	2
11	14	16	13	17	21	30	b	
48	75	81	97	131	190	247	K	4
12	12	13	16	19	25	29	b	
60	122	111	111	170	230	300	K	10
13	23	17	16	23	29	36	b	
67	155	130	170	230	260	327	K	25
10	26	17	27	30	32	33	b	

Groundwater

المياه الجوفية

المياه الجوفية هي المياه تحت سطحية في الطبقات المسامية الواقعة ضمن منطقة التشبع بالماء. وتزود المياه الجوفية % 20 تقريباً من احتياجات المياه في الولايات المتحدة.

الجيوب الجوفية هي تشكلات مياه جوفية قادرة على تزويد المياه بشكل اقتصادي. أما بالنسبة لتلك التشكلات التي لا تستطيع الإمدادات منها أن تكون اقتصادية فتدعى جيوباً ناضبةً.

توضّح النفاذية السهولة التي يتسرب بها الماء من خلال التربة وتُعيّن إذا كان التشكل الجوفي للماء هو جيب معطاء أم ناضب (اقتصادي أم غير اقتصادي).

يُعطى معدّل تحرّك (تسرّب) الماء الجوفي بقانون دارسي Darcy's law:

$$Q = KIA$$

حيث:

$$Q = \text{معدّل الجريان، gal/day (m}^3\text{/day)}.$$

$$K = \text{الناقلية الهيدروليكية، ft/day (m/day)}.$$

$$I = \text{التدرج الهيدروليكي، ft/ft (m/m)}.$$

$$A = \text{مساحة المقطع العرضي العمودي على اتجاه الجريان، ft}^2\text{ (m}^2\text{)}.$$

حساب معدّل تدفق الماء المطلوب لإخماد النيران

Water Flow For Firefighting

الكمية الإجمالية من المياه المستخدمة لمكافحة النيران كمية قليلة في الأحوال العادية، إلا أن معدّل التدفق المطلوب يكون مرتفعاً. والعلاقة الخاصة بحساب معدّل التدفق المطلوب للحريق رُسّخت من قبل جمعية التأمين الأمريكية وفق:

$$Q = 1020\sqrt{P}(1 - 0.01\sqrt{P})$$

حيث:

G = المعدل المطلوب للحريق، gal/min (liter/s).

P = تعداد السكان، بالآلاف.

Flow From Wells

الجريان من الآبار

يمكن إيجاد معدل الجريان الدائم Q من بئر ثقالي باستخدام صيغة دوبوي -

Dupuit formula:

$$Q = \frac{1.36K(H^2 - h^2)}{\log(D/d)}$$

حيث:

Q = التدفق، gal/day (liter/day).

K = الناقلية الهيدروليكية، ft/day (m/day)، وذلك تحت تأثير تدرج هيدروليكي

مقداره 1:1.

H = العمق الإجمالي للماء بدءاً من قاع البئر إلى سطح الماء الحر قبل الضخ، ft (m).

$H = h$ ناقص هبوط السحب (هبوط المنسوب)، ft (m).

D = قطر دائرة التأثير، ft (m).

d = قطر البئر، ft (m).

ويعطى الجريان الدائم من بئر إرتوازي (artesian well)، مقدراً بـ (liter/day)

بالعلاقة:

$$Q = \frac{2.73Kt(H - h)}{\log(D/d)}$$

حيث، t ثخانة الجيب المحصور، ft (m).

حساب المقاسات الاقتصادية لأنابيب شبكة التوزيع

Economical Sizing Of Distribution Piping

المعادلة الخاصة بحساب القطر الأكثر اقتصادية لأنبوب في منظومة شبكة توزيع المياه هي:

$$D = 0.215 \left(\frac{fbQ_a^3 S}{aiH_a} \right)^{1/7}$$

حيث:

D = قطر الأنبوب، (m) ft.

f = عامل احتكاك دارسي - فايسباخ.

b = سعر الطاقة، \$/hp بالسنة \$/kw بالسنة.

Q_a = التدفق الوسطي، (m³/s) ft³/s.

S = إجهاد الواحدة المسموح في الأنبوب، (MPa) lb/in².

a = كلفة الإنتاج المحلي للأنبوب، \$/lb (\$) /kg (\$).

i = التكاليف السنوية الثابتة (رسوم تدفع بانتظام سنوياً) لخط الأنابيب (مُعَبَّر عنها بكسر من قيمة رأس المال الإجمالي)

H_a = الحمولة الوسطية على الأنبوب، (m) ft.

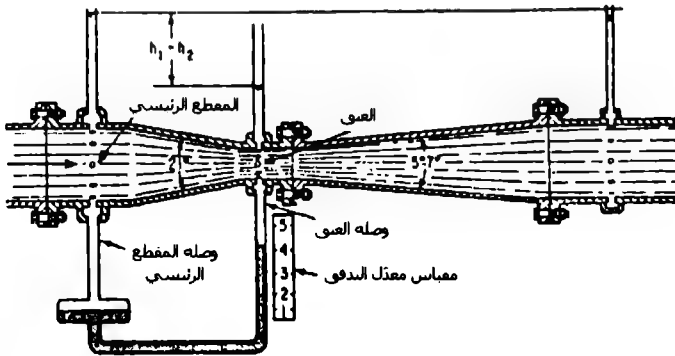
* مما لا شك فيه أن هذه العلاقة مُعْتَمَدَة في نظام رأسمالي يتقدم بعرض المائقة شركات خاصة تستثمر المشروع لمدة زمنية مسماة. (المعد).

حساب تدفق أنبوب الفنتوري القائس

Venturi Meter Flow Computation

يُعطى التدفق من خلال الفنتوري القائس (الشكل 12.27) بالعلاقة:

$$Q = cKd_2^2 \sqrt{h_1 - h_2}$$



الشكل 12.27. فنتوري قائس نظامي (قياسي)

$$K = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{1 - (d_2 / d_1)^2}} \quad \text{و :}$$

حيث:

Q = معدل التدفق، ft^3/s (أو m^3/s).

c = أمثال تدفق عملي يعتمد على سرعة الجريان في العنق، وعلى القطر أيضاً.

d_1 = قطر المقطع الرئيسي، ft (أو m).

d_2 = قطر العنق، ft (أو m).

h_1 = ضغط الماء في المقطع الرئيسي (الضغط الهيدروستاتيكي)، (m) ft.

h_2 = ضغط الماء في مقطع العنق (الضغط الهيدروستاتيكي)، (m) ft.

توليد الطاقة الكهرومائية (لهيدرولكترية)

Hydroelectric Power Generation

الطاقة الهيدرولكترية هي طاقة كهربائية يتم الحصول عليها من تحويل القدرة الكامنة والحركية للماء. فالقدرة الكامنة لحجم من الماء هي جداء وزنها والمسافة الشاقولية التي تهبطها:

$$PE = WZ$$

حيث:

PE = القدرة الكامنة.

W = الوزن الإجمالي للماء.

Z = المسافة الشاقولية التي يهبطها الماء.

الطاقة (الاستطاعة) هي المعدل الذي به تُنتج أو تستخدم القدرة:

1 حصان استطاعة (hp) = 550 ft.lb/s

1 كيلو واط (kW) = 738 ft.lb/s

$$1 \text{ hp} = 0.746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1.341 \text{ hp}$$

والطاقة التي يتم الحصول عليها من جريان الماء يمكن أن تُحسب من:

$$\text{hp} = \frac{\eta Qwh}{550} = \frac{\eta Qh}{8.8}$$

$$\text{kW} = \frac{\eta Qwh}{738} = \frac{\eta Qh}{11.8}$$

حيث:

$$kW = \text{كيلو واط.}$$

$$hp = \text{حصان استطاعة.}$$

$$Q = \text{معدل التدفق، } m^3/s \text{، } ft^3/s.$$

$$w = \text{وزن واحدة الحجم للماء } = 62.4 \text{ lb/ft}^3 \text{ (998.4 kg/m}^3\text{).}$$

$$h = \text{الحمولة الفعالة} = \text{فرق الارتفاع الإجمالي ناقص الضياعات الخطية الناشئة عن الاحتكاك والاضطراب، } (m) \text{ ft.}$$

$$\eta = \text{مردود العنفة (الترويين) والمولّد.}$$

A

جداول مفيدة

Useful Tables

المعادلات الأساسية في علم ميكانيك المواد

Axial load

الحمولة المحورية

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{الإجهاد الناظمي}$$

$$\delta = \int_0^L \frac{P(x)dx}{A(x)E} \quad \text{الإزاحة}$$

$$\delta = \sum \frac{PL}{AE}$$

$$\delta L = \alpha \Delta T L$$

Torsion

الفتل

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \quad \text{إجهاد القص في جذع أسطواني دائري}$$

$$\text{حيث: } J = \frac{\pi}{2} C^4 \quad \text{لمقطع عرضي مملء}$$

$$J = \frac{\pi}{2} (C_o^4 - C_i^4) \quad \text{لمقطع عرضي أنبوبي}$$

$$\rho = T \omega = 2 \pi f T \quad \text{الطاقة}$$

$$\phi = \int_0^L \frac{T(x)dx}{J(x)G} \quad \text{زاوية الفتل:}$$

$$\phi = \sum \frac{TL}{JG}$$

$$\tau_{avg} = \frac{T}{2 + A_m} \quad \text{إجهاد القص الوسطي في أنبوب رقيق الجدار}$$

$$q = \tau_{avg} t = \frac{T}{2 + A_m} \quad \text{قص السيلان}$$

Bending**الانحناء**

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad \text{الإجهاد الناطمي}$$

$$\tan \alpha = \frac{I_z}{I_y} \tan \theta \quad , \quad \sigma = -\frac{M_z y}{I_z} + \frac{M_y z}{I_y} \quad \text{الانحناء اللا تناظري}$$

Shear**القص**

$$\tau_{avg} = \frac{V}{A} \quad \text{إجهاد القص المباشر الوسطي}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It} \quad \text{إجهاد القص المستعرض}$$

$$q = \tau t = \frac{VQ}{I} \quad \text{قص السيلان}$$

الإجهاد في إناء مضغوط رقيق الجدار**Stress in Thin-Walled Pressure Vessel**

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t}$$

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} \quad \text{أسطوانة}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pr}{2t} \quad \text{كرة}$$

Stress Transformation Equations**معادلات تحويل القص**

$$\sigma'_x = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

الإجهاد الأولي

$$\tan 2\theta_p = \frac{\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)/2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

إجهاد القص الأعظمي في مستوى

$$\tan 2\theta_s = -\frac{(\sigma_x - \sigma_y)/2}{\tau_{xy}}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{avg} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

إجهاد القص الأعظمي المطلق

$$\tau_{abs\ max} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_{avg} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

الخصائص الفيزيائية

الوزن النوعي lb/ft ³	الكثافة kg/m ³		الوزن النوعي lb/ft ³	الكثافة kg/m ³	
			0.07530	1.2062	Air*
450	7 210	Iron (cast)	168	2 690	Aluminum
710	11 370	Lead	150	2 400	Concrete (av.)
847	13 570	Mercury	556	8 910	Copper
56	900	Oil (av.)	110	1 760	Earth (wet, av.)
489	7830	Steel	80	1280	(dry, av.)
192	3 080	Titanium	162	2 590	Glass
62.4	1 000	Water (fresh)	1205	19 300	Gold
64	1 030	(salt)	56	900	Ice
30	480	Wood (soft pine)			*At 20 °C (68 °F) and atmospheric pressure
50	800	(hard oak)			

* عند درجة الحرارة (68 °C 20 °F) والضغط الجوي النظامي

أمثال الاحتكاك

رُتُمُثَل أمثال الاحتكاك في الجدول اللاحق قِيَمًا نموذجية تحت شروط العمل النظامية. وسيعتمد الأمثال الفعلية، من أجل حالة مفروضة، على طبيعة سطوح التماس الدقيقة. لذا فإن انحرافاً بمقدار 25% إلى 100% أو حتى أكثر من ذلك يمكن توقعه في التطبيق العملي، وذلك بالنظر إلى الظروف السائدة على السطوح مثل نظافة السطح ونعومته والضغط عليه والسرعة، ...)

قيم أمثال الاحتكاك النموذجية		
سكونية μ_s	حركية μ_k	سطح التماس
0.6	0.4	Steel on steel (dry)
0.1	0.05	Steel on steel (greasy)
0.04	0.04	Teflon on steel
0.4	0.3	Steel on babbitt (dry)
0.1	0.07	Steel on babbitt (greasy)
0.5	0.4	Brass on steel (dry)
0.4	0.3	Brake lining on cast iron
0.9	0.8	Rubber tires on smooth pavement (dry)
0.2	0.15	Wire rope on iron pulley (dry)
0.3	0.2	Hemp rope on metal
	0.02	Metal on ice

ثوابت النظام الشمسي

$G = 6.673 (10^{-11}) \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ $= 3.439 (10^{-8}) \text{ ft}^4/(\text{lb} \cdot \text{s}^4)$	ثابت التجاذبية الكوني
$m_e = 5.976 (10^{24}) \text{ kg}$ $= 4.095 (10^{23}) \text{ lb} \cdot \text{s}^2/\text{ft}$	كتلة الأرض
$= 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$ $= 23.9344 \text{ h}$	فترة دوران الأرض (يوم نجمي واحد)
$\omega = 0.7292 (10^{-4}) \text{ rad/s}$	السرعة الزاوية للأرض
$\omega' = 0.1991 (10^{-6}) \text{ rad/s}$ $= 107 \text{ } 200 \text{ km/h}$ $= 66.610 \text{ mi/h}$	السرعة الزاوية الوسطية للخط الواصل الأرض بالشمس السرعة الوسطية لمركز الأرض حول الشمس

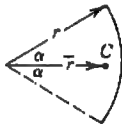

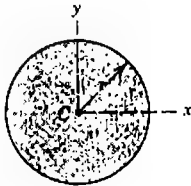
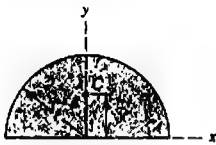

الجسم	البعد الوسطي عن الشمس	لا مركزية المدار	فترة المدار	القطر الوسطي	الكثافة متوسطة للأرض	النسبة التفاضلية السطحي	سرعة الانقلاط (الغروب)
Sun	-	-	-	1 392 000 (865 000)	333 000	274 (898)	616 (383)
Moon	384 398* (238 854)*	0.055	27.32	3 476 (2 160)	0.0123	1.62 (5.32)	2.37 (1.47)
Mercury	57.3×10^6 (35.6×10^6)	0.206	87.97	5 000 (3 100)	0.054	3.47 (11.4)	4.17 (2.59)
Venus	108×10^6 (67.2×10^6)	0.0068	224.70	12 400 (7 700)	0.815	8.44 (27.7)	10.24 (6.36)
Earth	149.6×10^6 (92.96×10^6)	0.0167	365.26	12 742** (7 918)**	1.000	9.821*** (32.22)***	11.18 (6.95)
Mars	227.9×10^6 (141.6×10^6)	0.093	686.98	6 788 (4 218)	0.107	3.73 (12.3)	5.03 (3.13)

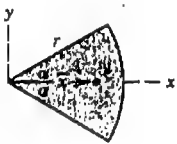

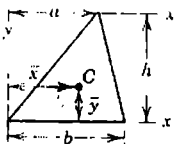
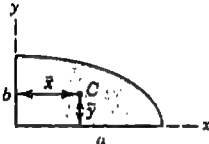
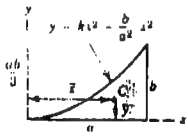
* البعد الوسطي عن الأرض (من المركز إلى المركز)

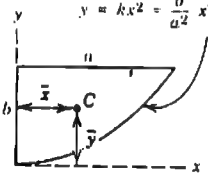
** قطر كوكب من حجم متساو، يعتمد على حجم الأرض ذي القطر الفعلي 12 714km و القطر الاستوائي 12 756km

*** من أجل الأرض الكروية اللا دوران، تساوي إلى القيمة المطلقة عند سطح البحر وحط العرض 37.5°

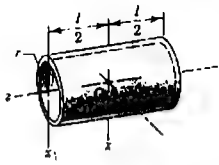
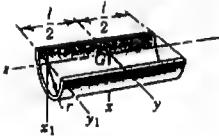
الخصائص الهندسية للأشكال المستوية

عزم عطالة المساحة	مركز الثقل	الشكل	
—	$\bar{r} = \frac{r \sin \alpha}{\alpha}$		قطعة قوسية
—	$\bar{y} = \frac{2r}{\pi}$		قوسا ربع ونصف دائرية
$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{4}$ $I_z = \frac{\pi r^4}{2}$	—		مساحة دائرية
$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{8}$ $\bar{I}_x = \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) r^4$ $I_z = \frac{\pi r^4}{2}$	$\bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$		مساحة نصف دائرية
$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{16}$ $\bar{I}_z = \bar{I}_y = \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right) r^4$ $I_z = \frac{\pi r^4}{8}$	$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$		مساحة ربع دائرية

عزم عطالة المساحة	مركز النقل	الشكل	
$I_x = \frac{r^4}{4} (\alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$ $I_y = \frac{r^4}{4} (\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$ $I_z = \frac{1}{2} r^4 \alpha$	$\bar{x} = \frac{2}{3} \frac{r \sin \alpha}{\alpha}$		مساحة قطاع دائري
$I_x = \frac{bh^3}{3}$ $\bar{I}_x = \frac{bh^3}{12}$ $\bar{I}_z = \frac{bh}{12} (b^2 + h^2)$	—		مساحة مستطيلة
$I_x = \frac{bh^3}{3}$ $\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}$ $\bar{I}_{x1} = \frac{bh^3}{4}$	$\bar{x} = \frac{a+b}{3}$ $\bar{y} = \frac{h}{3}$		مساحة مثلثة
$I_x = \frac{\pi \alpha b^3}{16}$, $\bar{I}_x = \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right) \alpha b^3$ $I_y = \frac{\pi \alpha^3 b}{16}$, $\bar{I}_y = \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right) \alpha^3 b$ $I_z = \frac{\pi \alpha b}{16} (\alpha^2 + b^2)$	$\bar{x} = \frac{4a}{3\pi}$ $\bar{y} = \frac{4b}{3\pi}$		مساحة ربع قطع ناقص
$I_x = \frac{\alpha b^3}{21}$ $I_y = \frac{\alpha^3 b}{5}$ $I_z = \alpha b \left(\frac{\alpha^2}{5} + \frac{b^2}{21} \right)$	$\bar{X} = \frac{3a}{4}$ $\bar{y} = \frac{3b}{10}$		مساحة جزء من قطع مكافئ

عزم عطالة المساحة	مركز النقل	الشكل	
$I_x = \frac{2ab^3}{7}$	$\bar{x} = \frac{3a}{8}$		مساحة
$I_y = \frac{2a^3b}{15}$	$\bar{y} = \frac{3b}{5}$		قطع
$I_z = 2ab \left(\frac{a^2}{15} + \frac{b^2}{7} \right)$			مكافئ

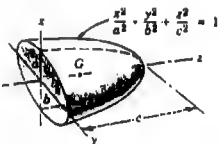
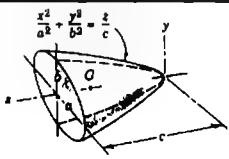
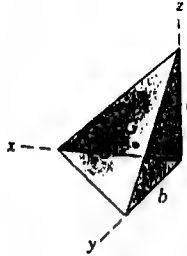
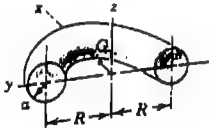
الخصائص الهندسية للمجسمات المتجانسة

عزم عطالة الكتلة	مركز الكتلة	الجسم	
$I_{xx} = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x x_1} = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{3}ml^2$ $I_{zz} = mr^2$	—		صفيحة أسطوانية دائرية
$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x x_1} = I_{y y_1}$ $= \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{3}ml^2$ $I_{zz} = mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \left(1 - \frac{4}{\pi^2} \right) mr^2$	$\bar{x} = \frac{2r}{\pi}$		نصف صفيحة أسطوانية

الجسم	مركز الكتلة	(m = كتلة الجسم المرن) عزم عطالة الكتلة
أسطوانة دائرية	—	$I_{xx} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x_1x_1} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{3}ml^2$ $I_{zz} = \frac{1}{2}mr^2$
نصف أسطوانة	$\bar{x} = \frac{4r}{3\pi}$	$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x_1x_1} = I_{y_1y_1}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{3}ml^2$ $I_{zz} = \frac{1}{2}mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \left(\frac{1}{2} - \frac{16}{9\pi^2} \right) mr^2$
متوازي مستطيلات قائم الزوايا	—	$I_{xx} = \frac{1}{12}m(a^2 + l^2)$ $I_{yy} = \frac{1}{12}m(b^2 + l^2)$ $I_{zz} = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{12}mb^2 + \frac{1}{3}ml^2$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{3}m(b^2 + l^2)$
قشرة صلحية كروية	—	$I_{zz} = \frac{2}{3}mr^2$
صلحية نصف كروية	$\bar{x} = \frac{r}{2}$	$I_{xx} = I_{yy} = I_{zz} = \frac{2}{3}mr^2$ $\bar{I}_{yy} = \bar{I}_{zz} = \frac{8}{12}mr^2$

الجسم	مركز الكتلة	(m = كتلة الجسم المئين)
كرة	—	عزم عطالة الكتلة $I_{zz} = \frac{2}{5} mr^2$
نصف كرة	$\bar{x} = \frac{3r}{8}$	$I_{xx} = I_{yy} = I_{zz} = \frac{2}{5} mr^2$ $\bar{I}_{yy} = \bar{I}_{zz} = \frac{83}{320} mr^2$
قضيب نحيف منتظم	—	$I_{yy} = \frac{1}{12} ml^2$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{3} ml^2$
ربع دائري	$\bar{x} = \bar{y} = \frac{2r}{\pi}$	$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{2} mr^2$ $I_{zz} = mr^2$
أسطوانة ذات مقطع عرضي على شكل ناقص	—	$I_{xx} = \frac{1}{4} ma^2 + \frac{1}{2} ml^2$ $I_{yy} = \frac{1}{4} mb^2 + \frac{1}{12} ml^2$ $I_{zz} = \frac{1}{4} m(a^2 + b^2)$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{4} mb^2 + \frac{1}{3} ml^2$

الجسم	مركز الكتلة	(m = كتلة الجسم المبتدئ) عزم عطالة الكتلة
صفحة مخروطية	$\bar{z} = \frac{2h}{3}$	$I_{yy} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{2}mh^2$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{6}mh^2$ $I_{zz} = \frac{1}{2}mr^2$ $\bar{I}_{yy} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{18}mh^2$
صفحة نصف مخروطية	$\bar{x} = \frac{4r}{3\pi}$ $\bar{z} = \frac{2h}{3}$	$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{2}mh^2$ $I_{x_1x_1} = I_{y_1y_1}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{6}mh^2$ $I_{zz} = \frac{1}{2}mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \left(\frac{1}{2} - \frac{16}{9\pi^2} \right) mr^2$
مخروط دائري قائم	$\bar{z} = \frac{3h}{4}$	$I_{yy} = \frac{3}{20}mr^2 + \frac{3}{5}mh^2$ $I_{y_1y_1} = \frac{3}{20}mr^2 + \frac{1}{10}mh^2$ $I_{zz} = \frac{3}{20}mr^2$ $\bar{I}_{yy} = \frac{3}{20}mr^2 + \frac{3}{80}mh^2$
نصف مخروط	$\bar{x} = \frac{r}{\pi}$ $\bar{z} = \frac{3h}{4}$	$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{3}{20}mr^2 + \frac{3}{5}mh^2$ $I_{x_1x_1} = I_{y_1y_1}$ $= \frac{3}{20}mr^2 + \frac{1}{10}mh^2$ $I_{zz} = \frac{3}{10}mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \left(\frac{3}{10} - \frac{1}{\pi^2} \right) mr^2$

عزم عطالة الكتلة	مرکز الكتلة	الجسم
$I_{xx} = \frac{1}{5} m(b^2 + c^2)$ $I_{yy} = \frac{1}{5} m(a^2 + c^2)$ $I_{zz} = \frac{1}{5} m(a^2 + b^2)$ $\bar{I}_{xx} = \frac{1}{5} m(b^2 + \frac{19}{64} c^2)$ $\bar{I}_{yy} = \frac{1}{5} m(a^2 + \frac{19}{64} c^2)$	$\bar{z} = \frac{3c}{8}$	 <p>نصف جسم قطع ناقص</p>
$I_{xx} = \frac{1}{6} mb^2 + \frac{1}{2} mc^2$ $I_{yy} = \frac{1}{6} ma^2 + \frac{1}{2} mc^2$ $I_{zz} = \frac{1}{6} m(a^2 + b^2)$ $\bar{I}_{xx} = \frac{3}{6} m(b^2 + \frac{1}{3} c^2)$ $\bar{I}_{yy} = \frac{1}{6} m(a^2 + \frac{1}{3} c^2)$	$\bar{z} = \frac{2c}{3}$	 <p>جسم قطع مكافئ ناقص</p>
$I_{xx} = \frac{1}{10} m(b^2 + c^2)$ $I_{yy} = \frac{1}{10} m(a^2 + c^2)$ $I_{zz} = \frac{1}{10} m(a^2 + b^2)$ $\bar{I}_{xx} = \frac{3}{80} m(b^2 + c^2)$ $\bar{I}_{yy} = \frac{3}{80} m(a^2 + c^2)$ $\bar{I}_{zz} = \frac{3}{80} m(a^2 + b^2)$	$\bar{x} = \frac{a}{4}$ $\bar{y} = \frac{b}{4}$ $\bar{z} = \frac{c}{4}$	 <p>رباعي وجوه قائم</p>
$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{2} mR^2 + \frac{5}{8} ma^2$ $I_{zz} = mR^2 + \frac{3}{4} ma^2$	$\bar{x} = \frac{a^2 + 4R^2}{2\pi R}$	 <p>نصف حلقة*</p>

* Torus (الحلقة): ناتجة عن دوران دائرة حول محور مثل المحور Z أو أي محور آخر موازي له.؟



**مواضيع منتقاة
من العلوم الرياضية**

**Selected Topics
of Mathematics**

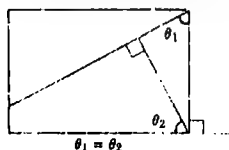
Introduction

مدخل

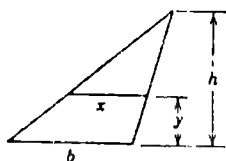
يتضمن الملحق B ملخصاً مقتضباً وتذكراً بأهم المواضيع المنتقاة من الرياضيات الأساسية والتي تلقى استخداماً متكرراً في علوم ميكانيك الإنشاءات. وسيجد الطلاب أنفسهم في كثير من الأحيان ملزمين باستخدام هذه العلاقات، في حين أنهم سيقفون مكتوفي الأيدي إن لم تكن هذه العلاقات بين أيديهم.

Plane Geometry

الهندسة المستوية

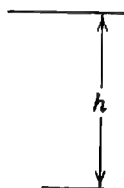


1. عندما يتعامد خطان متقاطعان على خطين آخرين على نحو متتالي، فإن الزاويتين المشكلتين بكل زوج من الخطوط متساويتان.



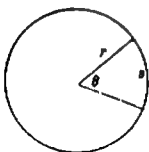
2. المثلثات المتشابهة

$$\frac{x}{b} = \frac{h-y}{h}$$



3. أي مثلث

$$\text{المساحة} = \frac{bh}{2}$$



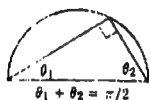
4. الدائرة

$$\text{المحيط} = 2\pi r$$

$$\text{المساحة} = \pi r^2$$

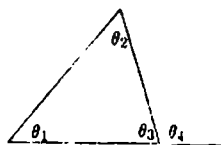
$$\text{طول القوس} = r\theta$$

$$\text{مساحة قطاع} = \frac{1}{2}r^2\theta$$



5. أي مثلث مُحاط بنصف دائرة هو مثلث قائم

$$\theta_1 + \theta_2 = \pi/2$$



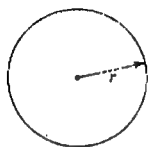
6. زوايا المثلث

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 180^\circ$$

$$\theta_4 = \theta_1 + \theta_2$$

Solid Geometry

الهندسة الفراغية



1. الكرة

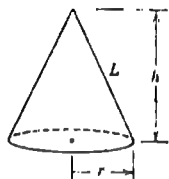
$$\text{الحجم} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\text{مساحة السطح} = 4\pi r^2$$



2. الحز الكروي

$$\text{الحجم} = \frac{2}{3}\pi r^3\theta$$

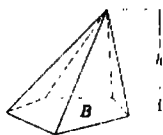


3. المخروط الدائري القائم

$$\text{الحجم} = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$\text{المساحة الجانبية} = \pi r L$$

$$L = \sqrt{r^2 + h^2}$$



4. أي هرم أو مخروط

$$\text{الحجم} = \frac{1}{3} B h$$

حيث: B = مساحة القاعدة

ALGEBRA

الجبر

1. المعادلة التربيعية

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, b^2 \geq 4ac$$

من أجل جذور حقيقية.

2. اللوغاريتمات

$$b^x = y, x = \log_b y$$

اللوغاريتمات الطبيعية

$$b = e = 2.718\ 282$$

$$e^x = y, x = \log_e y = \ln y$$

$$\log(ab) = \log a + \log b$$

$$\log(a/b) = \log a - \log b$$

$$\log(1/n) = -\log n$$

$$\log a^h = h \log a$$

$$\log 1 = 0$$

$$\log_{10} x = 0.4343 \ln x$$

3. المَعِينَات

2 nd order

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1$$

3rd order

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{matrix} + a_1 b_2 c_3 + a_2 b_3 c_1 + a_3 b_1 c_2 \\ - a_3 b_2 c_1 - a_2 b_1 c_3 - a_1 b_3 c_2 \end{matrix}$$

4. المعادلة التكميلية

$$x^3 = A x + B$$

ليكن:

$$p = A/3, q = B/2.$$

الحالة 1:

$$q^2 - p^3 \text{ سالب}$$

(ثلاثة جذور حقيقية ومتمايزة)

$$\cos u = q / (p\sqrt{p}), 0 < u < 180^\circ$$

$$x_1 = 2\sqrt{p} \cos(u/3)$$

$$x_2 = 2\sqrt{p} \cos(u/3 + 120^\circ)$$

$$x_3 = 2\sqrt{p} \cos(u/3 + 240^\circ)$$

الحالة II:

$$q^2 - p^3 \text{ موجب}$$

(جذر حقيقي واحد، وجذران تخيليان)

$$x_1 = \left(q + \sqrt{q^2 - p^3} \right)^{\frac{1}{3}} + \left(q - \sqrt{q^2 - p^3} \right)^{\frac{1}{3}}$$

الحالة III:

$$q^2 - p^3 = 0$$

(ثلاثة جذور حقيقية، جذران متساويان)

$$x_1 = 2q^{1/3}, x_2 = x_3 = -q^{1/3}$$

ومن أجل معادلة مكعبة في الحالة العامة:

$$x^3 + ax^2 + bx + c = 0$$

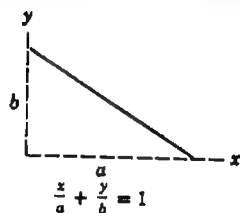
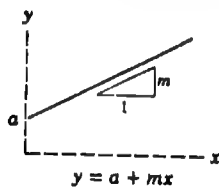
$$\text{عوض: } x = x_0 - \frac{a}{3} \text{ واحصل على } x_0^3 = Ax_0 + B$$

ثم تابع العمل وفق ما ورد في الأعلى لتجد قيم x_0 والتي منها تجد $x = x_0 - \frac{a}{3}$.

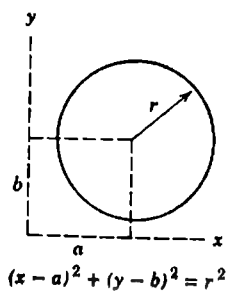
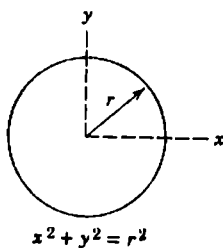
Analytic Geometry

الهندسة التحليلية

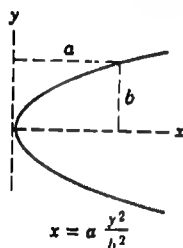
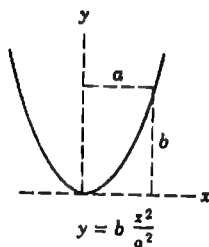
1. الخط المستقيم



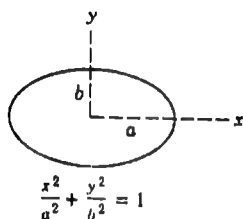
2. الدائرة



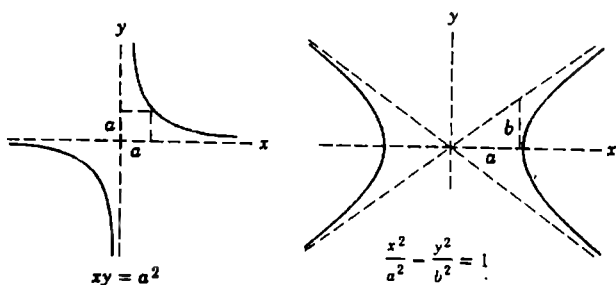
3. القطع المكافئ



4. القطع الناقص



5. القطع الزائد

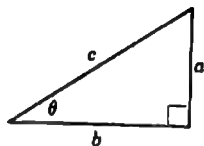


Trigonometry

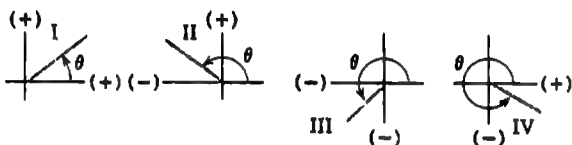
علم المثلثات

1. تعاريف

$$\begin{aligned} \sin \theta &= a/c & \csc \theta &= c/a \\ \cos \theta &= b/c & \sec \theta &= c/b \\ \tan \theta &= a/b & \cot \theta &= b/a \end{aligned}$$



2. الإشارات في الأرباع الأربعة



	I	II	III	IV
$\sin \theta$	+	+	-	-
$\cos \theta$	+	-	-	+
$\tan \theta$	+	-	+	-
$\csc \theta$	+	+	-	-
$\sec \theta$	+	-	-	+
$\cot \theta$	+	-	+	-

4. علاقات متفرقة

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

$$1 + \tan^2 \theta = \sec^2 \theta$$

$$1 + \cot^2 \theta = \csc^2 \theta$$

$$\sin \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}}$$

$$\cos \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}}$$

$$\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$$

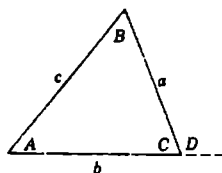
$$\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$$

$$\sin (a \pm b) = \sin a \cos b \pm \cos a \sin b$$

$$\cos (a \pm b) = \cos a \cos b \pm \sin a \sin b$$

5. قانون الجيوب

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{\sin A}{\sin B}$$



6. قانون التجهيات

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 ab \cos C$$

$$c^2 = a^2 + b^2 + 2 ab \cos D$$

Vector Operations

العمليات على المتجهات

1. التنويت (الترميز المطبعي). تطبع المقادير المتجهية بنموذج الطباعة الغامق، أما المقادير السلمية فتظهر بنموذج الطباعة الدقيق. وهكذا يكون للمقدار المتجهي \mathbf{V} القيمة السلمية V . ويجب أن توضح المقادير المتجهية أثناء المداولات الطويلة برمز مثل \underline{V} أو \vec{V} لتمييزها عن المقادير السلمية.

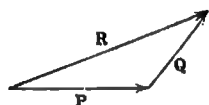
2. الجمع.

الجمع وفق قاعدة المثلث $\mathbf{P} + \mathbf{Q} = \mathbf{R}$

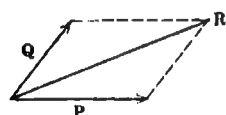
الجمع وفق قاعدة متوازي الأضلاع $\mathbf{P} + \mathbf{Q} = \mathbf{R}$



القانون التبديلي $P + Q = Q + P$

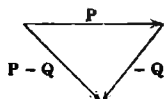


القانون التجميعي $P + (Q + R) = (P + Q) + R$



3. الطرح

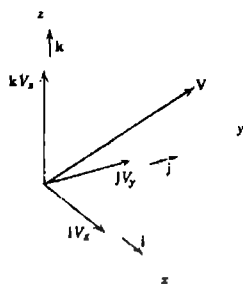
$$P - Q = P + (-Q)$$



4. المتجهات الواحدة i, j, k

$$V = V_x i + V_y j + V_z k$$

حيث :



$$|V| = V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

5. التجهيزات الموجهة، l, m, n هي تجهيزات الزوايا بين V والمحاور x, y, z . وعليه:

$$l = V_x/V ; m = V_y/V ; n = V_z/V$$

ولذا فإن :

$$V = V (l i + m j + n k)$$

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad \text{و}$$

6. الجداء النقطي أو السلمي

$$P \cdot Q = PQ \cos \theta$$

يمكن أن يُنظر إلى هذا الجداء وكأنه
طويلة P مضروبة بالمركبة $\cos \theta$ لـ Q
وفق اتجاه P ، أو كأنه طويلة Q مضروبة
بالمركبة $P \cos \theta$ وفق اتجاه Q .

$$P \cdot Q = Q \cdot P$$

القانون تبديلي

ومن تعريف الجداء النقطي:

$$i \cdot i = j \cdot j = k \cdot k = 1$$

$$i \cdot j = j \cdot i = i \cdot k = k \cdot i = j \cdot k = k \cdot j = 0$$

$$P \cdot Q = (P_x i + P_y j + P_z k) \cdot (Q_x i + Q_y j + Q_z k)$$

$$= P_x Q_x + P_y Q_y + P_z Q_z$$

$$P \cdot P = P_x^2 + P_y^2 + P_z^2$$

وينتج من تعريف الجداء النقطي أنه يكون المتجهان P و Q متعامدين عندما ينعدم
جداؤهما، $P \cdot Q = 0$.

ويمكن إيجاد الزاوية θ بين المتجهين P_1 و P_2 من عبارة جدائهما النقطي

$$P_1 \cdot P_2 = P_1 P_2 \cos \theta$$

التي تعطي:

$$\cos \theta = \frac{P_1 \cdot P_2}{P_1 P_2} = \frac{P_{1x} P_{2x} + P_{1y} P_{2y} + P_{1z} P_{2z}}{P_1 P_2} = l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2$$

حيث i, m, n تشير إلى التجهيزات الموجهة المتتالية للمتجهات.

ويلاحظ أيضاً أن المتجهين يتعامدان عندما تحقق التجهيزات الموجهة لهما العلاقة،

$$l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 = 0$$

القانون توزيعي $P \cdot (Q + R) = P \cdot Q + P \cdot R$

7. الجداء الاتجاهي أو المتصالب.

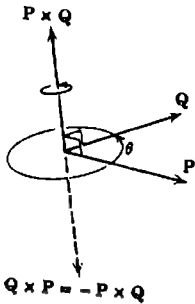
يُعرف الجداء الاتجاهي لمتجهين P و Q بالمتجه ذي الطويلة:



$$|P \times Q| = P Q \sin \theta$$

والاتجاه مُمَيَّز بقاعدة اليد اليمنى وفق ما هو موضح بالشكل الجانبي.

وبعكس ترتيب المتجه وباستخدام قاعدة اليد اليمنى، يعطي:



$$Q \times P = -P \times Q$$

القانون توزيعي $P \times (Q + R) = P \times Q + P \times R$

من تعريف الجداء الاتجاهي وباستخدام منظومة الإحداثيات اليمينية نحصل:

$$i \times j = k$$

$$j \times k = i$$

$$k \times i = j$$

$$-j \times i = -k$$

$$k \times j = -i$$

$$i \times k = -j$$

$$i \times i = j \times j = k \times k = 0$$

وبمساعدة هذه المتطابقات وقانون التوزيع، يمكن أن يكتب الجداء الاتجاهي وفق:

$$\begin{aligned} \mathbf{P} \times \mathbf{Q} &= (P_x \mathbf{i} + P_y \mathbf{j} + P_z \mathbf{k}) \times (Q_x \mathbf{i} + Q_y \mathbf{j} + Q_z \mathbf{k}) \\ &= (P_y Q_z - P_z Q_y) \mathbf{i} + (P_z Q_x - P_x Q_z) \mathbf{j} + (P_x Q_y - P_y Q_x) \mathbf{k} \end{aligned}$$

إن الجداء الاتجاهي يمكن أن يُعبر عنه أيضاً بالمعین:

$$\mathbf{P} \times \mathbf{Q} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ P_x & P_y & P_z \\ Q_x & Q_y & Q_z \end{vmatrix}$$

8. علاقات إضافية

الجداء السلمي الثلاثي $(\mathbf{P} \times \mathbf{Q}) \cdot \mathbf{R} = \mathbf{R} \cdot (\mathbf{P} \times \mathbf{Q})$

يمكن أن يتم التبادل بين النقطة وإشارة الضرب طالما ترتيب المتجهات محافظ عليه. ولا يكون هناك ضرورة للأقواس بما أن $\mathbf{P} \times (\mathbf{Q} \cdot \mathbf{R})$ ليس له معنى لأن متجهاً \mathbf{P} لا يمكن أن يتبع بإشارة ضرب بالمقدار السلمي $\mathbf{Q} \cdot \mathbf{R}$. وهكذا يمكن أن يكتب التعبير وفق:

$$\mathbf{P} \times \mathbf{Q} \cdot \mathbf{R} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{Q} \times \mathbf{R}$$

وللجداء السلمي الثلاثي منشور المعينة:

$$\mathbf{P} \times \mathbf{Q} \cdot \mathbf{R} = \begin{vmatrix} P_x & P_y & P_z \\ Q_x & Q_y & Q_z \\ R_x & R_y & R_z \end{vmatrix}$$

الجداء الاتجاهي الثلاثي:

$$\begin{aligned} (\mathbf{P} \times \mathbf{Q}) \times \mathbf{R} &= -\mathbf{R} (\mathbf{P} \times \mathbf{Q}) \\ &= \mathbf{R} \times (\mathbf{Q} \times \mathbf{P}) \end{aligned}$$

هنا لا بد من استخدام الأقواس، إذ أن التعبير $P \times Q \times R$ سيكون ملتبساً لأنه لا يُحدد المتجه الواجب إلحاقه بالضرب.

ومن الممكن أن يُبين بأن الجداء الاتجاهي الثلاثي يكافئ:

$$(P \times Q) \times R = R \cdot PQ - R \cdot QP$$

أو

$$P \times (Q \times R) = P \cdot RQ - P \cdot QR$$

فالحد الأول في التعبير الأول مثلاً، هو الجداء النقطي $R \cdot P$ أو السلمي، مضروباً بالمتجه Q .

9. مشتقات المتجهات. وتخضع لنفس القوانين كما هو الحال بالنسبة للمقادير السلمية.

$$\frac{dp}{dt} = \dot{P} = \dot{P}_x i + \dot{P}_y j + \dot{P}_z k$$

$$\frac{d(Pu)}{dt} = \dot{P}u + P\dot{u}$$

$$\frac{d(P \cdot Q)}{dt} = \dot{P} \cdot Q + P \cdot \dot{Q}$$

$$\frac{d(P \times Q)}{dt} = \dot{P} \times Q + P \times \dot{Q}$$

10. تكامل المتجهات

إذا كان V تابعاً لـ x و y و z ولعنصر حجمي $d\tau$ يساوي إلى $d_x d_y d_z$ ، فإن تكامل V على الحجم يمكن أن يُكتب كمجموع متجهي للتكاملات الثلاثة لمركباته، وعليه:

$$\int V d\tau = i \int V_x d\tau + j \int V_y d\tau + k \int V_z d\tau$$

Series

السلاسل

(التعبير في الأقواس المربعة الذي يلي السلاسل يُبين مجال التقارب)

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm nx + \frac{n(n-1)}{2!} x^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} x^3 + \dots [x^2 < 1]$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots [x^2 < \infty]$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots [x^2 < \infty]$$

$$\sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2} = x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \frac{x^7}{7!} + \dots [x^2 < \infty]$$

$$\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2} = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \frac{x^6}{6!} + \dots [x^2 < \infty]$$

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi x}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$\text{where } a_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos \frac{n\pi x}{l} dx, b_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \sin \frac{n\pi x}{l} dx$$

[Fourier expansion for $-l < x < l$]

Derivatives

المشتقات

$$\frac{dx^n}{dx} = nx^{n-1}, \quad \frac{d(uv)}{dx} = u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx}, \quad \frac{d\left(\frac{u}{v}\right)}{dx} = \frac{v \frac{du}{dx} - u \frac{dv}{dx}}{v^2}$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sin \Delta x = \sin dx = \tan dx = dx$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \cos \Delta x = \cos dx = 1$$

$$\frac{d \sin x}{dx} = \cos x, \quad \frac{d \cos x}{dx} = -\sin x, \quad \frac{d \tan x}{dx} = \sec^2 x$$

$$\frac{d \sinh x}{dx} = \cosh x, \quad \frac{d \cosh x}{dx} = \sinh x, \quad \frac{d \tanh x}{dx} = \operatorname{sech}^2 x$$

Integrals

التكاملات الشهيرة

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x$$

$$\int \sqrt{a+bx} dx = \frac{2}{3b} \sqrt{(a+bx)^3}$$

$$\int x\sqrt{a+bx} dx = \frac{2}{15b^2} (3bx-2a)\sqrt{(a+bx)^3}$$

$$\int x^2 \sqrt{a+bx} dx = \frac{2}{105b^2} (8a^2 - 12ab^2x^2)\sqrt{(a+bx)^3}$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a+bx}} = \frac{2\sqrt{a+bx}}{b}$$

$$\int \frac{\sqrt{a+x}}{\sqrt{a-x}} dx = -\sqrt{a+x}\sqrt{b-x} + (a+b)\sin^{-1} \sqrt{\frac{a+x}{a-b}}$$

$$\int \frac{x dx}{a+bx} = \frac{1}{b^2} [a+bx - a \ln(a+bx)]$$

$$\int \frac{x dx}{(a+bx)^n} = \frac{(a+bx)^{1-n}}{b^2} \left(\frac{a+bx}{2-n} - \frac{a}{1-n} \right)$$

$$\int \frac{x dx}{a+bx^2} = \frac{1}{\sqrt{ab}} \tan^{-1} \frac{x\sqrt{ab}}{a} \quad \text{or} \quad \frac{1}{\sqrt{-ab}} \tanh^{-1} \frac{x\sqrt{-ab}}{a}$$

$$\int \frac{x dx}{a+bx^2} = \frac{1}{2b} \ln(a+bx^2)$$

$$\int \sqrt{x^2 \pm a^2} dx = \frac{1}{2} [x\sqrt{x^2 \pm a^2} \pm a^2 \ln(x + \sqrt{x^2 \pm a^2})]$$

$$\int \sqrt{a^2 - x^2} dx = \frac{1}{2} \left(x\sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \sin^{-1} \frac{x}{a} \right)$$

$$\int x\sqrt{a^2 - x^2} dx = -\frac{1}{3} \sqrt{(a^2 - x^2)^3}$$

$$\int x^2 \sqrt{a^2 - x^2} dx = -\frac{x}{4} \sqrt{(a^2 - x^2)^3} + \frac{a^2}{8} \left(x \sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \sin^{-1} \frac{x}{a} \right)$$

$$\int x^3 \sqrt{a^2 - x^2} dx = -\frac{1}{5} \left(x^2 + \frac{2}{3} a^2 \right) \sqrt{(a^2 - x^2)^3}$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a + bx + cx^2}} = \frac{1}{\sqrt{c}} \ln \left(\sqrt{a + bx + cx^2} + x \sqrt{c} \frac{b}{2\sqrt{c}} \right) \quad \text{or} \quad \frac{-1}{\sqrt{-c}} \sin^{-1} \left(\frac{b + 2cx}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right)$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 \pm a^2})$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \sin^{-1} \frac{x}{a}$$

$$\int \frac{x dx}{\sqrt{x^2 - a^2}} = \sqrt{x^2 - a^2}$$

$$\int \frac{x dx}{\sqrt{a^2 \pm x^2}} = \pm \sqrt{a^2 \pm x^2}$$

$$\int x \sqrt{x^2 \pm a^2} dx = \frac{1}{3} \sqrt{(x^2 \pm a^2)^3}$$

$$\int x^2 \sqrt{x^2 \pm a^2} dx = \frac{x}{4} \sqrt{(x^2 \pm a^2)^3} \pm \frac{a^2}{8} x \sqrt{x^2 \pm a^2} - \frac{a^4}{8} \ln(x + \sqrt{x^2 \pm a^2})$$

$$\int \sin x dx = -\cos x$$

$$\int \cos x dx = \sin x$$

$$\int \sec x dx = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sin x}{1 - \sin x}$$

$$\int \sin^2 x dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2x}{4}$$

$$\int \cos^2 x dx = \frac{x}{2} + \frac{\sin 2x}{4}$$

$$\int \sin x \cos x dx = \frac{\sin^2 x}{2}$$

$$\int \sinh x \, dx = \cosh x$$

$$\int \cosh x \, dx = \sinh x$$

$$\int \tanh x \, dx = \ln \cosh x$$

$$\int \ln x \, dx = x \ln x - x$$

$$\int e^{ax} \, dx = \frac{e^{ax}}{a}$$

$$\int x e^{ax} \, dx = \frac{e^{ax}}{a^2} (ax - 1)$$

$$\int e^{ax} \sin px \, dx = \frac{e^{ax} (a \sin px - p \cos px)}{a^2 + p^2}$$

$$\int e^{ax} \sin^2 x \, dx = \frac{e^{ax}}{4 + a^2} \left(a \sin^2 x - \sin 2x + \frac{2}{a} \right)$$

$$\int e^{ax} \cos^2 x \, dx = \frac{e^{ax}}{4 + a^2} \left(a \cos^2 x + \sin 2x + \frac{2}{a} \right)$$

$$\int e^{ax} \sin^2 x \cos x \, dx = \frac{e^{ax}}{4 + a^2} (a \sin 2x - \cos 2x)$$

$$\int \sin^3 x \, dx = -\frac{\cos x}{3} (2 + \sin^2 x)$$

$$\int \cos^3 x \, dx = \frac{\sin x}{3} (2 + \cos^2 x)$$

$$\int \cos^5 x \, dx = \sin x - \frac{2}{3} \sin^3 x + \frac{1}{5} \sin^5 x$$

$$\int x \sin x \, dx = \sin x - x \cos x$$

$$\int x \cos x \, dx = \cos x + x \sin x$$

$$\int x^2 \sin x \, dx = 2x \sin x - (x^2 - 2) \cos x$$

$$\int x^2 \cos x \, dx = 2x \cos x + (x^2 - 2) \sin x$$

نصف قطر الانحناء

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{xy} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{d^2 y}{dx^2}} \\ v_{r\theta} = \frac{\left[r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta} \right)^2 \right]^{3/2}}{r^2 + 2 \left(\frac{dr}{d\theta} \right)^2 - r \frac{d^2 r}{d\theta^2}} \end{array} \right.$$

جدول المحتويات

1 عوامل التحويل الخاصة بتطبيقات الهندسية المدنية 9

2 الصيغ الخاصة بالجيزان 23

الجيزان المستمرة.....	55
المقاومة الحدية (القصى) للجيزان المستمرة.....	62
نظرية ماكسويل.....	71
نظرية كاستيليانو.....	71
الجيزان ذات المقاومة الموحدة.....	71
حمولات الأمان في جيزان ذات نماذج متنوعة.....	81
الحمولات الدوارة التحركة.....	86
الجيزان المنحنية.....	89
الجيزان المنحنية على نحو لا تتركزي.....	93
الانعطاف (التحنيب) المرن الجاني للجيزان.....	96
الحمولات المحورية المركبة وحمولات الانعطاف.....	99
الانعطاف اللا تناظري (مركب).....	100
التحميل اللا تتركزي.....	101
التواترات الدورية الطبيعية وفترات الاهتزاز الدورية الطبيعية للجيزان الموشورية.....	103

3 صيغ الأعمدة 105

اعتبارات عامة.....	106
الأعمدة القصيرة.....	107
الأعمدة الخاضعة لحمولات لا تتركزية.....	110
تصميم صفيحة (طبقة) قاعدة العمود.....	116

118	طرق تصميم الإجهاد المسموح في فولاذ الإنشاء، العائدة للجمعية الوطنية الأمريكية.....
120	الأعمدة المختلطة.....
123	التحبيب الانشائي المرن للأعمدة.....
126	حملات التصميم المقبولة (المسموحة) الخاصة بأعمدة الألمنيوم.....
130	تصميم الأعمدة البيتونية بالمقاومة الحدية (القصى).....
133	حالات خاصة للتسلح.....
133	مقاومة العمود في حال كان الضغط هو المسيطر.....
134	الأعمدة الدائرية.....
135	الأعمدة القصيرة.....
135	الأعمدة النحيفة.....

4 الصيغ الخاصة بالأوتاد وعموم أنواع الأوتاد الأرضية 137

141	الحملات المنسوجة على الأوتاد.....
142	الأوتاد الشاقولية المحملة جانبياً.....
145	قدرة استيعاب القدم الارتكازية للحمولة (السعة الحملية للقدم).....
146	جملة مجتمعة من الأوتاد.....
150	تحليل استقرارية الأساس.....
155	السعة الحملية المحورية للأوتاد المفردة (المنعزلة).....
156	عمق غمد التثبيت.....
157	مقاومة الغمد في الترب اللا متماسكة.....

5 صيغ البيتون 159

160	البيتون المسلح.....
160	نسبة الماء إلى مواد الخلطة الإسمنتية.....
162	حجم خلطة البيتون المكافئة لمهمة ما.....
162	عامل مرونة البيتون.....
163	مقاومة الشد للبيتون.....
163	فولاذ التسليح.....

164	الجيزان المستمرة والبلاطات ذات الاتجاه الواحد.....
164	من أجل العزم الموجب.....
164	من أجل العزم السالب.....
165	قوى القص.....
165	ردود أفعال النهايات.....
165	طرق تصميم الجيزان والأعمدة والعناصر الإنشائية الأخرى.....
166	الجيزان.....
166	الجيزان المستطيلة بتسليح شد فقط.....
169	الجيزان T بتسليح شد فقط.....
170	الجيزان بتسليح شد وصفت.....
170	فحص الإجهادات في الجيزان.....
172	القص والشد القطري في الجيزان.....
173	ربط وإرساء قضبان التسليح.....
174	الأعمدة.....
177	الأعمدة القصيرة المزودة بأربطة (أتاري).....
177	الأعمدة الطويلة.....
178	الضغط والانعطاف المركب.....
180	خصائص البيتون في الحالة المقساء.....
182	طول إرساء قضبان الشد.....
184	أطوال إرساء قضبان الضغط.....
184	التحكم بتشققات العناصر المرنة.....
185	المقاومة المطلوبة.....
186	حساب التشوهات والمعايير الخاصة بالجيزان البيتونية.....
188	التصميم بالمقاومة الحدية للجيزان المستطيلة المزودة بتسليح شد فقط.....
189	التسليح المتوازن.....
189	السعة العزمية.....
189	تسليح القص.....
192	إرساء تسليح الشد.....
192	عُقف القضبان.....
193	التصميم بإجهاد التشغيل للجيزان المستطيلة المزودة بتسليح شد فقط.....
194	عزم الانعطاف المقبول.....

194	الفصل المقبول
197	التصميم بالمقاومة الحديدية للحيزان المستطيلة المزودة بقضبان ضغط
198	التصميم بإجهاد التشغيل للحيزان المستطيلة المزودة بقضبان ضغط
201	التصميم بالمقاومة الحديدية للحيزان I و T
202	التصميم بإجهاد التشغيل للحيزان T و I
204	التصميم بالمقاومة الحديدية بالنسبة لعزم القتل
206	التصميم بإجهاد التشغيل بالنسبة لعزم القتل
207	إنشاء البلاطات المسطحة
210	إنشاء الصفائح المسطحة
212	طريقة التصميم المباشر
215	الفصل في البلاطات
217	عزوم الأعمدة
219	التسليح الحاروي
219	الهياكل المقواة والهياكل اللامقواة
220	جدران التحميل الشاقولي
222	الجدران القصية
224	جدران البيوتون الاستنادية الثقالية
228	الجدران الاستنادية الظرفية
230	الاساسات (الأقدام) الجدارية

6 الصيغ الخاصة بهندسة المنشآت الخشبية 233

234	الترتيبات والمقاييس النظامية للقطع الخشبية
234	قياسات القطعة الخشبية
235	التحميل
235	الحيزان
239	الأعمدة
240	الانعطاف المركب والحمولة المحورية
241	الضغط الذي يصنع زاوية مع الليف الخشبي
241	توصيات مخابر المتحات الخراجية

243	الضغط على مستوٍ مائل.....
245	عوامل التعديل الخاصة بقيم التصميم.....
248	عوامل القياس والحجم.....
249	الإجهادات القطرية وعامل الانحناء.....
250	عامل مساحة التحميل.....
251	عاملًا استقرارية الأعمدة والصلابة التحببية.....
254	مثبتات (براغي ومسامير) الخشب.....
254	المسامير والمسامير الطويلة (الشوكات المعدنية).....
257	البراغي (المسامير الحلزونية) الخشبية.....
259	تعديل قيم التصميم للوصلات المزودة بمثبتات (مسامير وبراغي).....
260	من أجل الوصلات بالبراغي.....
260	من أجل وصلات بالحلقة المنفلقة والصفحة القصية.....
260	من أجل الوصلات بالمسامير والمسامير الحلزونية (المفتوح فيها شرار).....
261	من أجل وصلات بالبراغي الخشبية.....
261	من أجل وصلات براغي كبيرة.....
261	من أجل وصلات بصفحة معدنية.....
261	من أجل وصلات بدسُر (شوكات معدنية) ثقب ومسامير ثقب.....
261	من أجل وصلات بشبكة من الشوك المعدنية.....
261	إمالة (الميل) السقف لمنع تكوّن برك الماء.....
263	الانعطاف والشد المحوري.....
263	الانعطاف والضغط المحوري.....

7 صيغ علم المساحة التطبيقية..... 267

268	واحدات القياس.....
270	نظرية الأخطاء.....
272	قياس المسافة بالأشرطة.....
275	تصحیحات الميل (انحدار الأرض).....
275	تصحیحات درجة الحرارة.....
276	التصحیح الأورثومتري.....

278	شبكة التحكم الشاقولية.....
278	المسح السناديمتري
281	الفوتوغرامتري

8 الصيغ الخاصة بالتربة والأعمال الترابية 283

284	الخصائص الفيزيائية للتربة
285	الوسطاء الأدلة للتربة
286	العلاقات بين الأوزان والحجوم في التربة
288	الاحتكاك الداخلي والتماسك
289	الضغوط الشاقولية في التربة
290	الضغوط الجانبية المؤثرة في التربة والقوى المؤثرة على الجدران الاستنادية
292	الضغط الجانبي للتربة اللاتماسكة
293	الضغط الجانبي للتربة التماسكة
294	ضغط الماء
295	الضغط الجانبي الناتج عن التحميل الإضافي
295	استقرارية المنحدرات
295	التربة اللاتماسكة
296	التربة التماسكة
296	قدرة تحمل (السعة الحملية) التربة
297	مقدار المبوط (الغوص) أسفل الأساس
298	تجارب رص التربة
299	تجربة التحميل (للصفحة)
300	نسبة التحميل الكاليفورنية
301	نفاذية التربة
301	معدّات الرص
303	صيغ مقاومة التربة للحركة
305	حساب كميات التربة المشحونة
306	إنتاجية السكرير

307	الآليات المطلوبة.....
308	التحكم بالاهتزازات الناتجة عن عملية السنف (التفجس).....

9 صيغ تصميم عناصر الأبنية والمنشآت العامة.....311

314	عامل تصميم الحمولة والمقاومة الخاص بإجهاد القص المؤثر في عناصر المباني.....
315	إجهاد التصميم المقبول في أعمدة الأبنية.....
317	معظم هذه المباني ذات إنشاء مختلط.....
318	عامل تصميم الحمولة والمقاومة لأعمدة الأبنية.....
319	إجهاد التصميم المقبول في جيزان الأبنية.....
322	عامل تصميم المقاومة والحمولة الخاص بجيزان البناء.....
327	تصميم الإجهاد المقبول للقص المؤثر في المباني.....
330	الإجهادات في القشريات الرقيقة.....
331	صفائح التحميل.....
333	صفائح قواعد الأعمدة.....
335	التحميل على السطوح المدلّفة (سطوح إسناد غير مُثبتة).....
335	صفائح تقوية الجيزان العرضية الرئيسية في المباني.....
338	توزيع الحمولة على الهياكل الإطارية المستعرضة وعلى الجدران القصية.....
338	تشرّحات الهياكل الإطارية والجدران القصية.....
340	الضغط المحوري المركب أو الشد مع الانعطاف.....
342	الأجساد الواقعة تحت تأثير حمولات مركزة.....
342	مقايير خاصة بالأبنية.....
345	تصميم صفائح التقوية الواقعة تحت تأثير الحمولات.....
347	عناصر التثبيت في الأبنية.....
348	الإنشاءات المختلطة.....
348	الإنشاء المختلط في المباني.....
350	عدد روابط الوصل المطلوبة في إنشاء المباني.....
351	القص الفاعل على الروابط.....
352	اعتبارات خاصة بتشكيل البرك المائية في المباني.....

10 صيغ الجسور وأكبال التعليق.....355

356	تصميم مقاومة القص للجسور
357	تصميم الإجهاد المقبول في أعمدة الجسور
358	عامل تصميم الحمولة والمقاومة العائد لأعمدة الجسور
359	تصميم الإجهاد المقبول الخاص بجيزان الجسور
361	المقويات في الجيزان العرضية للجسور
363	المقويات الطولية
363	الجيزان العرضية المختلطة في الجسور
364	عامل تصميم الحمولة في جيزان الجسور
365	التحميل على السطوح المدلقة (اللامرئقة)
371	مُثَبِّتَاتِ الجسر
372	الإنشاء المختلط في جسور الطرق العامة
372	نسبة مجاز/العمق
373	العرض الفعال لليلاطات
373	إجهادات الانعطاف
374	بجالت تراوح القص
376	عدد الروابط في الجسور
378	مقاومة القص الحديثة للروابط في الجسور
378	إجهاد التصميم المقبول على القص في الجسور
380	النسب العظمى للعرض على الشحانة في عناصر الضغط العائدة لجسور الطرقات العامة
383	أكبال التعليق
383	قوة شد أكبال تعليق على شكل قطع مكافئ، وأطواها
384	شكل منحنى ارتقاء الكبل والمسافة بين المساند
385	العلاقات العامة للأكبال المعلقة
385	منحنى ارتقاء الكبل (CATENARY)
387	منحنى القطع المكافئ
388	المساند المتوضعة على سوّيات مختلفة
389	المساند على نفس السوية
393	أنظمة الأكبال

11 صيغ الطرق والطرق العامة (السريعة) 397

398	المنحنيات الدائرية
399	معادلات المنحنيات الدائرية
400	منحنيات القطوع المكافئة
402	معادلات منحنيات القطوع المكافئة
403	منحنيات الطرق العامة وسلامة السائق
404	استقامات الطريق العام
404	وضع المحطات
404	مسافة الرؤية (مسافة رؤية توقف السائق)
407	الأرقام الإنشائية الخاصة بالرصف المرين
412	منحنيات الانتقال (الحلزونية)
413	تصميم شبكة التصريف النحوية لطريق عام
413	وتقاس مقاومة التداول عامل المرونة المُعَرَّف من العلاقة:
416	الإجراءات التصميمية المتبعة في الجمعية العلمية الأميركية للفرلاذ والحديد (AISI)
416	كثافة الردمية
416	الضغط التصميمي
418	الضغط الحثقي (الخطي)
419	الإجهاد الجداري المسموح
420	نحانة الجدار
420	اختبار صلابة التداول
421	اختبار خطوط الاتصال بواسطة الراعي

12 صيغ علم الهيدروليك والمنشآت المائية 423

428	فعل الخاصة الشعيرة
430	اللزوجة
431	الضغط على السطوح المنحنية الغائصة تحت الماء
432	المبادئ الأساسية في جريان سائل
437	المماثلة (المقارنة) بالنماذج الفيزيائية
441	جريان سائل في أنبوب

441	الجريان الصفحي
443	الجريان المضطرب
444	صيغة دارسي — فايسباخ
445	صيغة نثري
446	صيغة مانينغ
447	صيغة هازن — ويليامز
449	تغيرات الضغط (الحمولة) بسبب تغير قياس الأنبوب
449	التوسعات الفجائية
450	التوسعات التدريجية
451	التضايق المفاجئ
452	ضياعات الإنشائات والوصلات النظامية
452	الجريان من خلال الفوهات
452	تصريف الفوهة إلى الهواء الحر
454	الفوهات الفائضة
456	التصريف تحت ظرف هبوط الحمولة
456	نوافير السوائل
458	دفع فوهة ضمن أنابيب مخروطية متباعدة
459	المطرقة المائية (الصدمة الهيدروليكية)
460	إجهادات الأنبوب العمودية على المحور الطولي
461	تمدد الأنبوب الناتج عن الفروقات الحرارية
462	القوى الناشئة عن إنشاعات الأنابيب
465	بماير الصرف المستعرضة (التحتية)
465	المدخل والمخرج غائصان
467	المجاير على المنحدرات لا تصل إلى الحد المخرج
467	مدخل غائص أو غير غائص إلا أن المخرج حر
468	الجريان في الأقنية المكشوفة
471	عمق الجريان النظامي (الطبيعي)
472	العمق المخرج للجريان في قناة مكشوفة
473	معادلة مانينغ في الأقنية المكشوفة
474	القفزة الهيدروليكية
478	الجريان اللا منتظم في الأقنية المكشوفة

480	الأقنية المستطيلة.....
481	الأقنية المثلثية.....
483	الأقنية بمقطع عرضي على شكل قطع مكافئ.....
484	الأقنية الشبه منحرفة.....
486	الأقنية الدائرية.....
487	اهدّارات (الخواجز المائية).....
487	أنواع الهدارات.....
488	الجريان فوق الهدّارات.....
488	الهدّار المستطيل.....
490	الهدار المثلثي.....
490	الهدار الشبه منحرف (هدار تشبوليقي).....
491	الهدار ذو القمة (الذروة) العريضة.....
492	توقع معدّل حمل الرسوبيات.....
493	التيخّر والارتشاح.....
494	طريقة تعيين التدفق السطحي المطري للمنشآت الهيدروليكية البسيطة.....
495	حساب شدة الهطول المطري.....
496	المياه الجوفية.....
497	حساب معدّل تدفق الماء المطلوب لإخماد النيران.....
498	الجريان من الآبار.....
499	حساب المقاسات الاقتصادية لأنابيب شبكة التوزيع.....
500	حساب تدفق أنبوب الفتوري القائس.....
501	توليد الطاقة الكهربائية (هيدروإلكتريّة).....

A جداول مفيدة.....503

B مواضيع منتقاة من العلوم الرياضية.....617

518	مدخل.....
518	الهندسة المستوية.....
519	الهندسة الفراغية.....

520 الجبر
523 الهندسة التحليلية
524 عم المثلثات
526 العمليات على المتجهات
532 السلاسل
533 المشتقات
534 التكاملات الشهيرة

539 جدول المحتويات

The Portable Civil Engineering Formulas Reference

مرجعك السريع والمفيد في المواضيع التالية:

- عوامل التحويل الخاصة بتطبيقات الهندسة المدنية
- الصيغ الخاصة بالجيزان
- صيغ الأعمدة
- الصيغ الخاصة بالأوتاد وعموم أنواع الأوتاد الأرضية
- صيغ البيتون
- الصيغ الخاصة بهندسة المنشآت الخشبية
- صيغ علم المساحة التطبيقية
- الصيغ الخاصة بالتربة والأعمال الترابية
- صيغ تصميم عناصر الأبنية والمنشآت العامة
- صيغ الجسور وأكبال التعليق
- صيغ الطرقات والطرقات العامة (السريعة)
- صيغ علم الهيدروليك والمنشآت المائية
- جداول مفيدة
- مواضيع منتقاة من العلوم الرياضية